UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JÔNATAS SANTINE QUEIROZ DA SILVA

ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO DE UMA POSSÍVEL INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDÊNCIA SIMPLES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO UM PLANO DE MANUTENÇÃO

CARAÚBAS
2023

JÔNATAS SANTINE QUEIROZ DA SILVA

ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO DE UMA POSSÍVEL INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDÊNCIA SIMPLES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Orientador (a): Prof. Dr. Rafael Luz Espíndola-UFERSA.

CARAÚBAS
2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 0 conteúdo desta obra e de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. 0 conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586a Silva, Jonatas Santine Queiroz da Silva

ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO DE UMA POSSÍVEL INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EMUMA RESIDÊNCIA SIMPLES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO UM PLANO DE MANUTENÇÃO/ Jonatas Santine Queiroz da Silva Silva. - 2023.

111 f.: il.

Orientador: Rafael Luz Espindola Epindola.

Coorientador: Geovanna Paulina Dantas Maia.

Monografia (Graduação)-Universidade Federal do Semi- Árido, Curso de Engenharia Mecânica ,2023.

1. Fontes Alternativas. 2. Energia Solar Fotovoltaica. 3. Custo Benefício .I.Espindola , Rafael Luz Espindola , orient.II.Maia ,Geovanna Paulina Dantas Maia , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador autómato em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues CRB: 15/700

0 serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC''s) foi desenvolvido pelo instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semiárido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado as necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-graduação da Universidade.

JÔNATAS SANTINE QUEIROZ DA SILVA

ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO DE UMA POSSÍVEL INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDÊNCIA SIMPLES LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi Árido – UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Orientador (a): Prof. Dr. Rafael Luiz Espindola-UFERSA.

APROVADO EM: 18/05/2023

BANCA EXAMINADORA:

RAFAEL LUZ ESPINDOLA:[redacted]
Assinado de forma digital por RAFAEL LUZ ESPINDOLA:[redacted]
Dados: 2023.05.22 16:21:05 -03'00'

Prof. Dr. Rafael Luz Espindola (UFERSA)
Presidente

gov.br Documento assinado digitalmente
GEOVANNA PAULINA DANTAS MAIA
Data: 23/05/2023 08:19:55-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof.Esp. Geovanna Paulina Dantas Maia (UFERSA)
Membro

Rudson de Souza Lima
Assinado de forma digital por Rudson de Souza Lima
Dados: 2023.05.23 13:07:57 -03'00'

Prof. Dr. Rudson de Souza Lima (UFERSA)
Membro

Antônio Alisson Alencar Freitas
Antônio Alisson Alencar Freitas
2023-05-23 20:40:48

Prof. M.Sc.Antonio Alisson Alencar Freitas (UFERSA)
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, a minha mãe Lucia Maria Queiroz da Silva e ao meu padrasto Antônio Cid Albuquerque da Silva que sempre me forneceram apoio e a todo o momento me incentivaram a dar continuidade. Aos colegas de trabalho que tive ao longo da minha jornada profissional e universitária que contribuíram direta ou indiretamente para chegar a este momento.

Aos colegas de lotação que verdadeiramente contribuíram na jornada, ao campus de Caraúbas por ainda disponibilizar dois cursos bastante importantes (Engenharia Mecânica e Elétrica) no período noturno, permitindo aqueles que trabalham terem acesso a fazer uma Engenharia em uma universidade pública, poupando-os muitas vezes de ter que fazer uma universidade paga e permitindo a pessoas de cidade de interior a obter uma formação em curso superior sem ter a necessidade de se deslocar para fora de sua cidade , sem abandonar seus respectivos empregos, muitas vezes tendo que se sustentar e/ou ajudar a sustentar suas respectivas famílias.

Aos patrões que tive e as empresas que trabalhei que de certa forma foram compreensíveis e incentivadores a respeito da minha situação de trabalhador e estudante. A também os professores e colegas de universidade que muitas vezes estão na mesma batalha, muitas vezes tendo que enfrentar batalhas muito mais intensas que a minha. A outras instituições no qual tive a oportunidade de fazer cursos complementares a minha formação como Engenheiro Mecânico.

Aos parentes e amigos que verdadeiramente contribuíram com a minha jornada em especial a minha irmã Diana Patrícia que se encontra nos braços de Deus e que em vida apesar de nossas diferenças sempre me ajudou. A todas as empresas no qual trabalhei durante todo o período que estive na UFERSA e antes dela mesmo que muitas delas ainda não se encontrem em atividade.

Aos funcionários da UFERSA além dos professores que contribuíram com suas respectivas funções que direta ou indiretamente ajudaram em minha jornada muitas vezes fazendo além daquilo que suas respectivas funções o obrigam a fazer. A todos aqueles que a o longo desta difícil jornada, incentivaram a continuar, não desistir e não retroceder para que este momento chegasse.

“Eu vi coisas que vocês não acreditariam naves de ataques em chames ao largo de Órion. Eu vi raios C cintilando na escuridão do portão de Tannhäuser. Todos esses momentos se perderão no tempo como lágrimas na chuva. Hora de morrer!”

(Roy Batty)

RESUMO

Embora a energia solar fotovoltaica corresponda a algo recente em nossa sociedade, principalmente comparada a outras formas de geração de energia mais recente mesmo formas alternativas de energia como a eólica por exemplo. Possui ainda limitação de uso, provocada por fatores diversos que podem ser resumidos na falta de conhecimento (de natureza física, cientifica e burocrática) para sua aplicabilidade e também dos aspectos econômicos relacionados principalmente no que diz respeito à economia na conta de luz. Como o território brasileiro possui um potencial promissor para esta forma de energia alternativa, fato confirmado por entidades governamentais e/ou cientificas e até mesmo corporativas que lidam diretamente com a geração, distribuição e aplicabilidade de energia elétrica, seu uso deve ser constantemente incentivado, proporcionando preservação do meio ambiente, otimização do sistema elétrico e melhorias para a matriz energética do nosso país. É importante para o consumidor que ao adquirir energia fotovoltaica, no qual, assume também o papel de gerador tenha em mente todas as informações necessárias a respeito, de modo que, possa contribuir e ao mesmo tempo ter uma vantagem favorável na aquisição de um sistema fotovoltaico, possibilitando uma relação de custo benefício justa entre a distribuidora de energia e o proprietário de um imóvel que possui energia fotovoltaica instalada.

Palavras chave: Fontes alternativas, energia solar fotovoltaica e custo benefício.

ABSTRACT

Although the photovoltaic solar energy corresponds to something new in our society, mainly compared with other generation forms of energy same alternative energy forms like the wind energy, for example. Have your use limited, for different reasons that can be summarized in the lack of knowledge (of nature physic, scientific and bureaucratic) for your application and too economic aspects with relation principally with regard the economy of electricity bill. Like the Brazilian territory have promising potential for this alternative energy form, this fact is confirmed by governmental entities and/or scientific and until same corporates that deal directly with the generation, distribution and applicability of electrical energy, your use should be constantly encouraged, providing preservation of environment, optimization of the electrical system and improvements for the Brazilian matrix energetic. It's important for the consumer that when acquiring photovoltaic energy, in which assume too the role of generator have in mind every necessary information about, so that, can contribute and the same time have one favorable advantage in the acquisition of photovoltaic system, making possible one relation of cost benefit fair between the energy distributor and the owner of an immobile that it has photovoltaic energy installed!

Keywords: Alternative sources, photovoltaic solar energy and cost benefit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Potencial de Energia Solar no Mundo 19

Figura 2-Evolução da Capacidade Instalada de Geração Fotovoltaica no Mundo 20

Figura 3-Matriz Energética Brasileira Atualizada 22

Figura 4-Redução do custo de células fotovoltaicas de 1977 até 2015 24

Figura 5-Sistema Fotovoltaico Estrutura Básica 25

Figura 6-Inversor de um único estágio (1), dois estágios (2) e múltiplos estágios 26

Figura 7-Configurações de Inversor Centralizado (1), CC paralelo (2), Inversor integrado (3) e CA paralelo 27

Figura 8-Instalação Fotovoltaica Completa.....30

Figura 9-Exemplo de mudança na conta de luz antes e depois da energia solar.....39

Figura 10-Módulo Fotovoltaico selecionado.....42

Figura 11-Latitude e Longitude de Mossoró-RN 44

Figura 12-Valores de Irradiação Solar Média para o município de Mossoró-RN.....44

Figura 13-Fixação dos suportes para as placas solares.....45

Figura 14-Placa Solar montada com suporte e trilhos.....46

Figura 15-Suportes Fixadores para Placa Painel Solar Alumínio e Inox Para Telha Cerâmica e Cimento 46

Figura 16-Perfil barra trilho de 2,40 m para placas solares.....47

Figura 17-Principais tipos de pinos de fixação de placas solares: Pinos intermediários (1), Pinos finais (2) e Pinos de aterramento (3) 47

Figura 18-Terminais de uma placa solar 49

Figura 19-Exemplos de ligação de placas solares em série (1), paralelo (2) e mista (3) 50

Figura 20-Locais de instalação das placas solares, inversor e *string box*.....51

Figura 21-Capacidade de condução para cabos solares 52

Figura 22-Curvas DPS.....53

Figura 23-DPS Escolhido 54

Figura 24-Fusível e Disjuntor CC 54

Figura 25-Inversor escolhido 55

Figura 26-Esquema elétrico do inversor com as S*trings* 1 e 2 57

Figura 27-DPS CA escolhido 58

Figura 28-Critérios de seleção para condutores CA.....59
Figura 29-Critérios de seleção para eletrodutos 61
Figura 30-Componentes adicionais de uma instalação fotovoltaica 62
Figura 31-Exemplo de analise termográfica em placa solar.....68
Figura 32-Termovisor.....71
Figura 33-Sobreaquecimento no conector.....72
Figura 34-DPS e seus varistores 71
Figura 35-Triângulo das potencias 96
Figura 36-Banco de Capacitores.....98
Figura 37-Exemplo de Varímetro.....99
Figura 38-Exemplo de Tarifa do grupo A 104
Figura 39-Exemplo de Tarifa do grupo B 108
Figura 40-Aerogeradores pertencentes ao complexo Eólico Mangue seco.....111
Figura 41-Usina Fotovoltaica Assú V 111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Opções de Implementação de um Sistema Fotovoltaico.....28

Tabela 2- Tarifa de consumo ativo consumidores do grupo B COSERN, Grupo Branco ..33

Tabela 3- Tarifa consumo intermediário do grupo B COSERN, Grupo Branco.....34

Tabela 4- Tarifa consumo intermediário do grupo B COSERN, Grupo Branco.....35

Tabela 5- Tarifas consumo ponta e fora de ponta consumidores grupo B COSERN, Grupo Branco.....35

Tabela 6- Valores consumo do proprietário do imóvel a ser instalado energia solar.....41

Tabela 7- Especificações do módulo solar selecionado 48

Tabela 8- Especificações do Inversor selecionado 55

Tabela 9- Materiais necessários para se fazer a instalação fotovoltaica.....63

Tabela 10- Materiais e métodos de manutenção para a instalação fotovoltaica.....67

Tabela 11- Cronograma de Manutenção 74

Tabela 12- Tarifas de Consumo de Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Verde 94

Tabela 13-Tarifas de Demanda COSERN, Grupo Verde 95

Tabela 14- Tarifas de Consumo de Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Azul 100

Tabela 15- Tarifas de Demanda de Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Azul 101

Tabela 16- Tarifas de ultrapassagem na ponta e fora ponta da COSERN, Grupo Azul.....102

Tabela 17- Tarifa demanda reativa excedente ponta e fora ponta 103

Tabela 18- Valores de fio demanda e encargos de consumidores livres COSERN 109

Tabela 19- Valores de fio demanda para geração COSERN.....110

LISTA DE SIGLAS

OPAEP Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

COSERN Companhia Energética do Rio Grande do Norte S.A

ICMS Imposto sobre Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de comunicação

PIS Programa de Integração Social

COFINS Contribuição Para o Financiamento da Seguridade Social

MMGD Micro e Minigeração Distribuída

EOL Eólica

ABEEOLICA Associação Brasileira de Energia Eólica

CRESESB Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

EPI Equipamento de Proteção Individual

TUSD Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TE Tarifa de Energia

EOL Eólica

INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

SPDA Sistema de Proteção de Descarga Atmosférica

ART Anotação de Responsabilidade Técnica

TRT Termo de Responsabilidade Técnica

CONFEA Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CGH Centrais geradoras Hidroelétricas

PCH Pequenas Centrais Hidroelétricas

UFV Unidades geradoras fotovoltaicas

UHE Usinas hidroelétricas

UTE Unidades Termoelétricas

UTN Unidades Termonucleares

DPS Dispositivo de Proteção contra surto

LISTA DE SÍMBOLOS

cosø-Fator de potência

kW-Kilowatt

%-porcentagem

kV-quilovolt

VA_R-Volt Ampere Reativo

VA- Volt Ampere

S-Potência Aparente

Q-Potência Reativa

P- Potência Ativa

R$-Reais

kWh-Kilowatt hora

R$/kWh-Reais por Kilowatt hora

kWh/m²dia- Kilowatt hora por metro quadrado dia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

1.1-OBJETIVOS GERAIS 17

1.2-OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

2 REFERENCIAL TEÓRICO 18

2.1-HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA 18

2.2-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO 19

2.3-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL 20

2.4-ENERGIA FOTOVOLTAICA E CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA 22

2.5-INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS (ESTRUTURA BÁSICA) 25

2.6-IMPACTOS SOCIAMBIENTAIS 30

2.7-TARIFAS DE ENERGIA E TIPOS DE CONSUMIDORES 31

2.8-DIMENSIONAMENTO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .36

2.9-MUDANÇAS NA CONTA DE LUZ APÓS A INSTALAÇÃO 38

3 ESTUDO DE CASO 41

4 PLANO DE MANUTENÇÃO 67

4.1-MANUTENÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS 67

4.2-MANUTENÇÃO DOS CONECTORES 69

4.3-MANUTENÇÕES NA STRING *BOX*, ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO E QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 70

4.4-MANUTENÇÃO DO INVERSOR.....72

4.5-CRONOGRAMAS DE MANUTENÇÃO E RECÁLCULO DO *PAYBACK* 74

5 CONCLUSÃO 80

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81

APÊNDICES 97

APÊNDICE A-COBRANÇAS NO GRUPO A (RN, GRUPO VERDE) 94

APÊNDICE B-COBRANÇAS DE ENERGIA REATIVA 96

APÊNDICE C-COBRANÇAS NO GRUPO A (RN, GRUPO AZUL) 100

APÊNDICE D- DETALHAMENTO DAS FATURAS GRUPO A E B 103

APÊNDICE E- CONSUMIDORES LIVRES 108

1-INTRODUÇÃO

Mesmo com o desenvolvimento de formas alternativas de energia o Brasil ainda tem como principal fonte geradora a energia proveniente de hidroelétricas (ABEEÓLICA, 2022). Por esta razão, constantes incentivos promovidos pelos mais diversos setores da sociedade visam aderir formas de energia alternativa, em especial fotovoltaica e eólica.

A escassez de combustíveis fósseis e a continua preocupação com o meio ambiente representa alguns dos principais motivos para a realização de estudos direcionados a energias alternativas, no entanto, para o cidadão comum pagador de impostos além destas preocupações sociais justas se faz necessário saber se tais meios alternativos representam uma piora ou melhoria nos custos, no que diz respeito ao consumo de energia elétrica. Embora todos os meios de geração e consumo de energia leve em consideração tal fato, é na energia fotovoltaica em que se tem um maior foco nessa problemática, pois um dos principais motivos de sua aquisição é justamente a economia na conta de energia.

Aqui será abordado o que é cobrado na conta de luz, as mudanças ocorrentes na cobrança de energia após adquirir placas solares, o dimensionamento da instalação que será comtemplada com as placas e a análise de retorno de investimento após a instalação e funcionamento das placas. Além de abordar também um pouco a respeito do histórico no Brasil e no mundo desta energia, a relação do uso das placas e as concessionárias de energia, a legislação vigente relacionada e as possíveis leis que possam surgir também, o dimensionamento e a manutenção.

Tendo como parte principal uma situação hipotética, porém não muito distinta da realidade de uma instalação solar em uma residência comum no Nordeste brasileiro. Detalhando os materiais utilizados e também os procedimentos relacionados à execução do serviço com base na estrutura do imóvel possivelmente agraciado com a instalação de um sistema de energia fotovoltaica.

Além de tudo isso o cálculo do custo benefício será item incluso um plano de manutenção feito para a suposta instalação fotovoltaica. Ademais é visto que as atividades atribuídas para a área da mecânica (no que diz respeito ao plano de manutenção) são fatores bastante ignorados no cálculo de custo benefício de uma instalação fotovoltaica, no geral, as empresas não possuem contratos levando em consideração a manutenção de natureza preventiva e/ou preditiva da instalação solar a ser ativada em um determinado imóvel.

1.1-OBJETIVOS GERAIS

Estabelecer uma análise de custo benefício não só levando em consideração a instalação solar em si, mais também de acordo com o plano de manutenção que será adotado, realizando um comparativo entre a renda familiar das pessoas presentes no imóvel a ser comtemplado com a energia solar fotovoltaica e o tempo de retorno de investimento do empreendimento solar no final na análise.

1.2-OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar a viabilidade financeira da implementação e uso de um sistema fotovoltaico em um consumidor de energia elétrica simples.

2-REFERENCIAL TEÓRICO

2.1-HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica obtém-se por meio da conversão da radiação solar em eletricidade através de materiais semicondutores (BRAGA, 2008). O efeito fotovoltaico teve como primeiro analisador o físico francês Edmund Becquerel em 1839 por meio de uma solução de selênio. Nesta solução observou-se o aparecimento de tensão elétrica por meio de iluminação solar.

Por volta de 1870 o fenômeno expande o estudo a sólidos, no qual em 1880 teve-se a construção da primeira célula fotovoltaica a base de Selênio, com uma eficiência de 2 %. Em 1887 observou-se através de experimentos que a luz quando incidida em determinadas superfícies provocava a liberação de elétrons, experimento de Heinrich Hertz. Em 1905 postulou-se que um feixe de luz era constituído de pequenas partes de energia chamado quanta, posteriormente chamado de fóton (JÚNIOR; BAGNARA, 2016) ideia proposta por Einstein. Na década de 50 nos Estados Unidos aplicações práticas para esta tecnologia entraram em ação, em que em 1954 construiu-se a primeira célula fotovoltaica a base de silício no Laboratório *Bell* para o sistema de alimentação de satélites.

Entre 1973 e 1974 se estabeleceu uma crise mundial de energia, deflagrada devido a cortes de produção de petróleo e um embargo aos aliados ao Estado de Israel promovido pela OPAEP (Organização dos Países Árabes Exportadores de Petróleo) devido a conflitos bélicos com o estado de Israel na época (NUNES *et al.*, 2016).Com isso, novos meios de obtenção de energia foram estudados fazendo com que a utilização da energia solar não se restringisse única e exclusivamente a programas espaciais. Atualmente existem muitos materiais semicondutores apropriados para a conversão fotovoltaica, sendo os mais utilizados o silício cristalino e o amorfo hidrogenado. A segunda opção é mais promissora do ponto de vista econômico, em laboratório é possível produzir placas de silício cristalino com 27% de eficiência na conversão, e as produzidas industrialmente com uma eficiência de 15 a 18 por cento. Para o silício amorfo hidrogenado em laboratório tem-se uma eficiência de 10 a 12 por cento. As células de silício cristalino podem ser subdivididas em silício monocristalino e policristalino, sendo que as células de silício monocristalino se fabricam há partir de um único cristal de silício denominado cristal semente mergulhado em silício fundido.

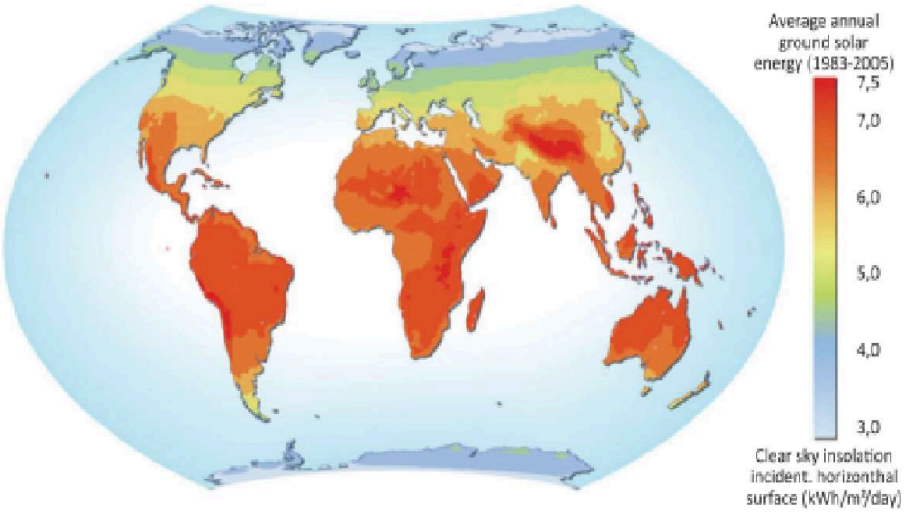
No caso do silício policristalino o silício de alta pureza é resfriado formando vários cristais. O processo de fabricação das células de silício amorfo hidrogenado ocorre por meio da deposição de filmes finos de silício, o silício amorfo não forma uma rede cristalina uniforme, por possuir um arranjo desordenado a estrutura possui muitas ligações pendentes que

formam buracos que podem prejudicar o fluxo de corrente elétrica através da célula fotovoltaica, assim, se faz necessária a hidrogenação da estrutura que é a inserção de átomos de hidrogênio nestas lacunas. O que faz tal procedimento ser mais econômico é porque se faz a utilização de pouco material em relação aos outros procedimentos.

2.2-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO MUNDO

A energia proveniente do Sol chega à superfície terrestre de forma não homogenia onde a incidência de raios solares depende de fatores como latitude, estações do ano, condições atmosféricas e etc. Na Figura 1 se tem a incidência de raios solares na superfície da Terra.

Figura 1-Potencial de Energia Solar no Mundo



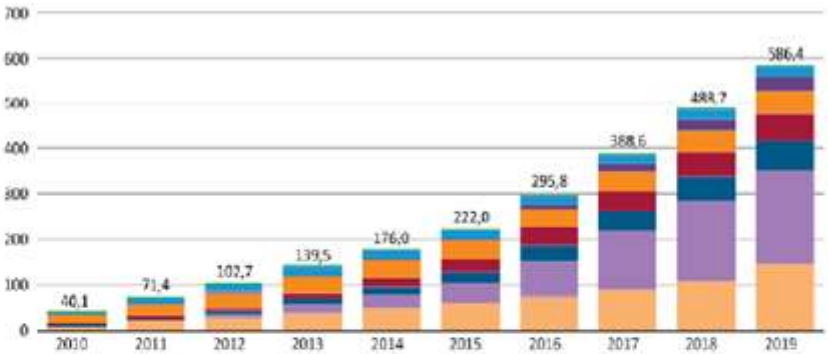
Fonte: BEZERRA, 2021

Na Figura 1 demonstra-se a média anual de energia solar terrestre (A*verage annual ground solar energy*) dada em kWh/m^2/dia onde os valores de tal grandeza se tornam menores na região de isolamento de céu claro na superfície horizontal (*Clear sky isolation, horizontal surface*), que corresponde a região do planeta que é mais próxima dos polos.

Com base nesse e em outros estudos constatou-se que a disponibilidade de energia solar na superfície terrestre é maior que a demanda global de energia elétrica. De acordo com o gráfico na Figura 2 a participação da energia solar na geração elétrica mundial, corresponde a 2,68 % em 2019, 15 vezes maior do que o observado em 2010. Este cenário de aumento expressivo na expansão de energia solar tende a se manter nos próximos anos, devido ao apelo

para a produção de energia a partir de fontes renováveis e às perspectivas de redução do custo de geração e ao aumento de eficiência tecnológica.

Figura 2-Evolução da Capacidade Instalada de Geração Fotovoltaica no Mundo



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Brasil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,1	2,1	2,5
Itália	3,6	13,1	16,8	18,2	18,6	18,9	19,1	19,7	20,1	20,9
Índia	0,0	0,1	0,6	0,9	3,7	5,6	9,9	18,2	27,4	35,1
Alemanha	18,0	25,9	34,1	36,7	37,9	39,2	40,7	42,3	45,2	49,0
Japão	3,6	4,9	6,4	12,1	19,3	28,6	38,4	44,2	55,5	61,8
E.U.A.	2,0	3,4	7,3	13,0	17,7	23,4	34,7	43,1	53,2	62,3
China	1,0	3,1	6,7	17,8	28,4	43,5	77,8	130,8	175,2	205,5
Outros	11,8	20,9	30,8	40,7	50,4	62,6	74,9	89,1	110,1	149,4
Total mundial	40,1	71,4	102,7	139,5	176,0	222,0	295,8	388,6	488,7	586,4

Adaptado de: BEZERRA, 2021

2.3-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Até dezembro de 2020 o Brasil possuía 2,989 GW de potência em geração centralizada (tipo de geração em que as grandes usinas geradoras é que produzem a energia e a enviam aos consumidores através das linhas de transmissão) e 4,254 GW de potência instalada em geração distribuída (corresponde a geração que é realizada em sistemas geradores que ficam próximos ou até mesmo na própria unidade consumidora , sendo estas podendo ser casas, indústrias, empresas e etc.) em energia solar fotovoltaica (GASPARIN et al., 2022).

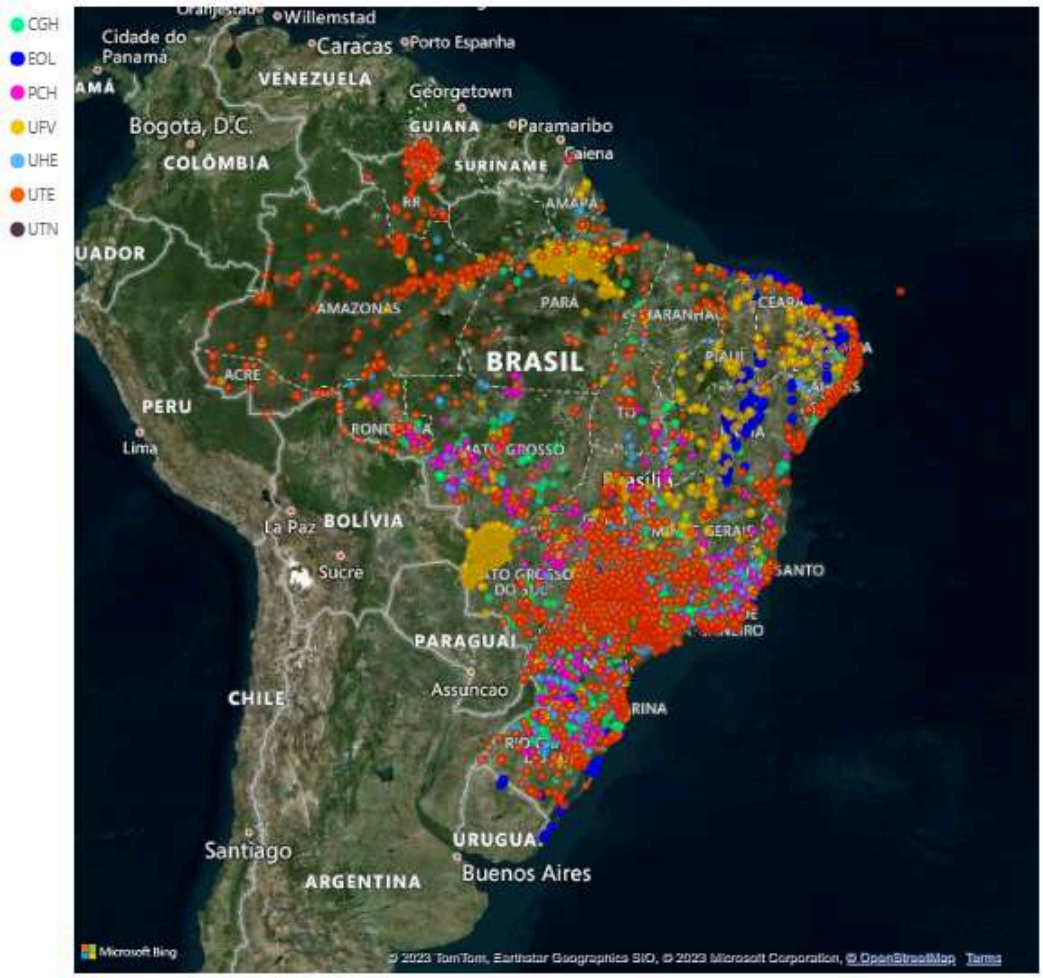
Apesar das diferentes características climáticas do Brasil, a média de irradiação global tem boa uniformidade no país com médias anuais relativamente altas. Com base nisso, medidas governamentais foram postas em prática de modo a incentivar o mercado de energia solar em nosso território, no qual se pode destacar como principais:

- **Decreto Lei n° 5163/2004:** Regula a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e autorizações de geração de energia elétrica.

- **Resolução Normativa 482/2002:** Dispõe sobre as condições gerais para o acesso de microgeração (potência instalada de até 75 kW) e minigeração (superior até 75 kW e menor ou igual a 5 MW) distribuída e o sistema de compensação de energia.
- **Resolução Normativa 517/2012:** Uma das alterações propostas por essa norma que ainda consta na versão atualizada dispõe sobre as regras de participação financeira do consumidor ao determinar que as mesmas devam ser definidas por regulamentos específicos.
- **Projeto de lei 5829/2019:** Propõe a criação de um marco legal (constitui um conjunto de legislações que regem uma determinada iniciativa) para a geração distribuída na nação, alterando as regras de geração por meio de fontes renováveis no sentido de taxação de energia, antes dessa iniciativa existiam muitas restrições no sentido de possuir meios de geração própria, restrições que impediriam o melhoramento da matriz energética nacional (Figura 3) e dificultariam a implementação de meios de energia renováveis juntamente com ás metas de desenvolvimento sustentável global que incentivam as iniciativas referentes à energia renovável.

Atualmente em operação o Brasil possui 0,45% em Centrais geradoras Hidroelétricas (CGH); 13,18% em Eólicas (EOL); 2,96% em pequenas centrais hidroelétricas (PCH); 4,35% em Unidades geradoras fotovoltaicas (UFV); 53,40% em Usinas hidroelétricas (UHE); 24,64% em Unidades Termoelétricas (UTE) e 1,03% em Unidades Termonucleares (UTN).

Figura 3- Matriz Energética Brasileira Atualizada



Fonte: ANEEL, 2023

2.4-ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA

Para iniciar a produção e energia elétrica através de painéis solares, todo consumidor precisa conhecer as regras da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para autogeração de energia elétrica. Regras válidas para usuários residências e comerciais que podem injetar a energia gerada a transformando em créditos energéticos que podem ser compensados na conta de luz. Através da já comentada Resolução Normativa 482 pessoas físicas ou jurídicas tem autorização para instalar micro ou minigeradores para produção de energia elétrica para atendimento da demanda de consumo. Antes desta medida a energia só poderia ser gerada pelas grandes usinas e por sua vez enviada aos consumidores por meio das linhas de transmissão.

Nesta resolução, o ponto que é de mais interesse no sentido econômico é o sistema de compensação de energia elétrica que consiste em injetar a energia excedente produzida na rede distribuidora local em forma de empréstimo. A energia injetada por sua vez retorna ao consumidor em forma de créditos energéticos. Esses créditos podem ser armazenados como uma conta poupança e podem ficar inativos no prazo máximo de 5 anos. E se o proprietário tiver outros imóveis com a mesma titularidade e que consumam energia da mesma concessionária o mesmo pode solicitar desconto na conta de luz com base na conta de luz destes imóveis, no entanto, na ordem de prioridade dos descontos estará o imóvel no qual a energia solar está instalada. Pode-se também utilizar os créditos para suprir períodos da baixa produção de energia solar (céu nublado e/ou com chuva).

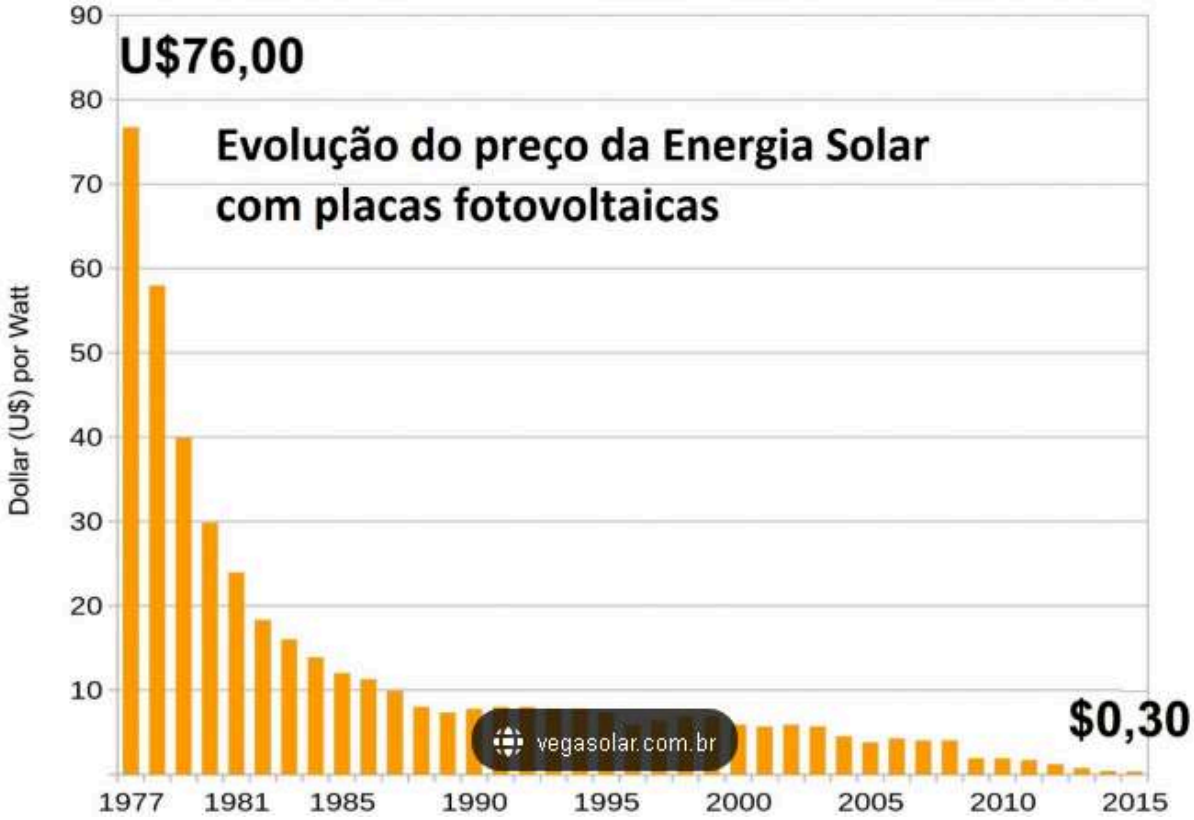
Se o cliente da concessionaria vier a se mudar, os créditos restantes são somados pela concessionária e podem ser compensados no novo imóvel, desde que, este imóvel esteja com a mesma titularidade do cliente. Para a ANEEL os usuários de energia fotovoltaica podem ser divididos em dois grupos, o Grupo A (consumidores de Alta Tensão, 1000 volts em corrente alternada e 1500 volts em corrente contínua, normalmente grandes empresas e indústrias) e o Grupo B(consumidores de Baixa Tensão estão entre 50 volts e 1000 volts para corrente alternada e 120 volts e 1500 volts em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra, neste grupo inclui-se normalmente casas e estabelecimentos comercias de pequeno porte).

Além destes dois grupos existem outros grupos de consumidores tais como os Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras e o Autoconsumo remoto. Os Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras que consistem no modelo onde vários moradores de um prédio ou de um condomínio se juntem para instalar um gerador de energia solar, de modo que a energia gerada é compartilhada entre os moradores. A administração predial e/ou a gestão do condomínio devem assumir a responsabilidade do sistema, onde toda a energia gerada é injetada na rede elétrica transformando-se em créditos energéticos, de modo que, a distribuidora irá calcular no final do mês, o valor da energia elétrica consumida por cada unidade consumidora (em watts) e descontar dos créditos energéticos que foram injetados na rede, é necessário que todos os consumidores sejam pertencentes à mesma área delimitada da propriedade, em que, a energia gerada não possa ser usada em vias públicas, passagem aérea ou subterrânea, nem em propriedades que não façam parte do empreendimento. Desta forma, torna-se possível transferir créditos em excesso para pessoas físicas e/ou pessoas jurídicas diferentes desde que haja um contrato mediando às partes, com isso pode-se transferir créditos de outra propriedade ou fazer esta ação através de cooperativas e consórcios de pessoas ou empresas.

No caso do Autoconsumo Remoto refere-se a uma modalidade de geração de energia através do sol em que a entidade proprietária da energia não possui espaço ou sol suficiente para geração de energia, onde se utiliza um espaço para a geração de energia de modo que o espaço consumidor pode estar a uma distância considerável do espaço onde a placa ou as placas solares estão alocadas.

Por se tratar de uma forma de energia alternativa e também recente de geração de energia elétrica existe certo receio perante o consumidor em geral no que diz respeito a adesão da energia solar fotovoltaica, principalmente, por motivos financeiros. Adquirir energia solar tem como principal motivação a diminuição considerável na conta de luz além da questão ambiental, no entanto, o futuro usuário tem que ver que se os custos de instalação e/ou manutenção das placas solares no final de tudo representa uma situação econômica melhor do que se ele estivesse totalmente dependente da concessionária de energia. Isto é um fator que desestimulou por muitos anos a adesão desta fonte de energia, contudo, com o passar dos anos as células fotovoltaicas baratearam (Figura 4).

Figura 4- Redução do custo de células fotovoltaicas de 1977 até 2015



Fonte: VEGASOLAR, 2016

2.5-INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS (ESTRUTURA BÁSICA)

Na Figura 5 têm-se os principais componentes de um sistema solar fotovoltaico que são as células (1), os módulos (2), os fixadores de placas solares (3), os inversores (4), os conectores (5) e baterias (6).

Figura 5- Sistema Fotovoltaico Estrutura Básica

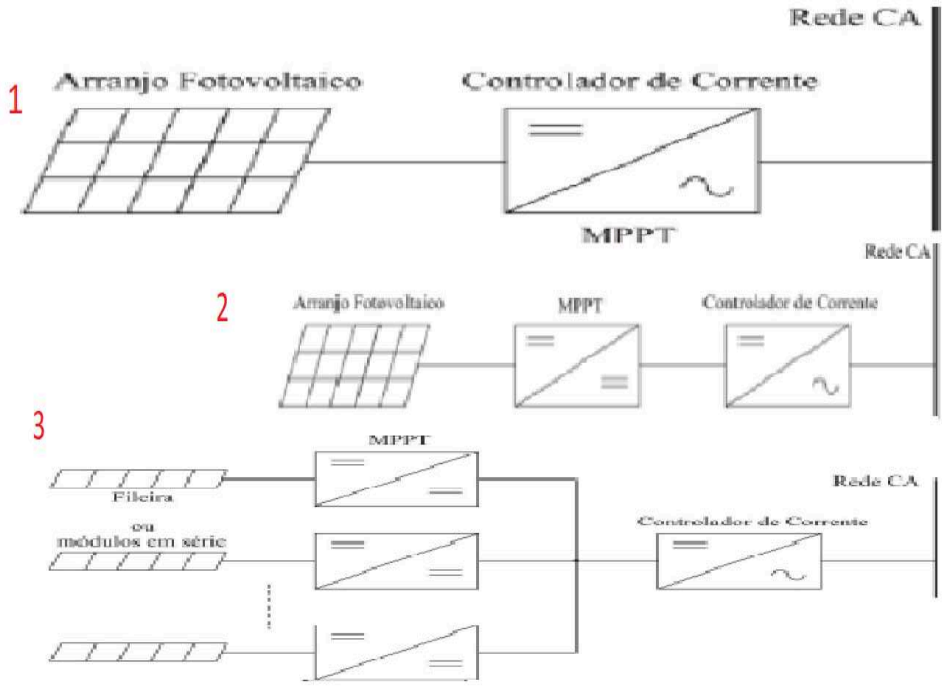
Fonte: RENOVIGI ENERGIA SOLAR, 2019

Os módulos são compostos em parte por silício e outros materiais com moldura de alumínio, vidro especial, encapsulante (EVA), *backsheet* (material plástico branco depositado na parte de trás do painel com a finalidade de proteger os componentes internos do mesmo) e caixa de junção. O componente por inteiro tem como objetivo proteger as células e permitir a geração de energia solar por um longo período de tempo, o manuseio deste componente tem que ser feito com cuidado de modo a não danificar a células que são muito frágeis (RIBEIRO FILHO; PEREIRA; VELÁZQUEZ, 2022).

Os fixadores de placas solares têm a função de fixar mecanicamente as placas solares que normalmente ficam despostas nos telhados das respectivas residenciais e/ou demais estabelecimentos em que está forma de energia alternativa se faz presente. A maneira como são construídos e instalados varia com o tipo de telhado onde as placas serão instaladas.

Os inversores utilizam uma tecnologia denominada MPPT (*Maximum Power Point Tracking)* que se trata de um sistema eletrônico lógico que captura o ponto máximo de potência de geração dos sistemas fotovoltaicos ligados ao mesmo. Esta tecnologia atua em conjunto com conversores CC-CA, pois a corrente gerada pelas placas que é contínua é convertida em alternada, que é a corrente de alimentação da rede elétrica urbana. Tal procedimento é realizado de três formas um único estágio, dois estágios e múltiplos estágios (Figura 6).

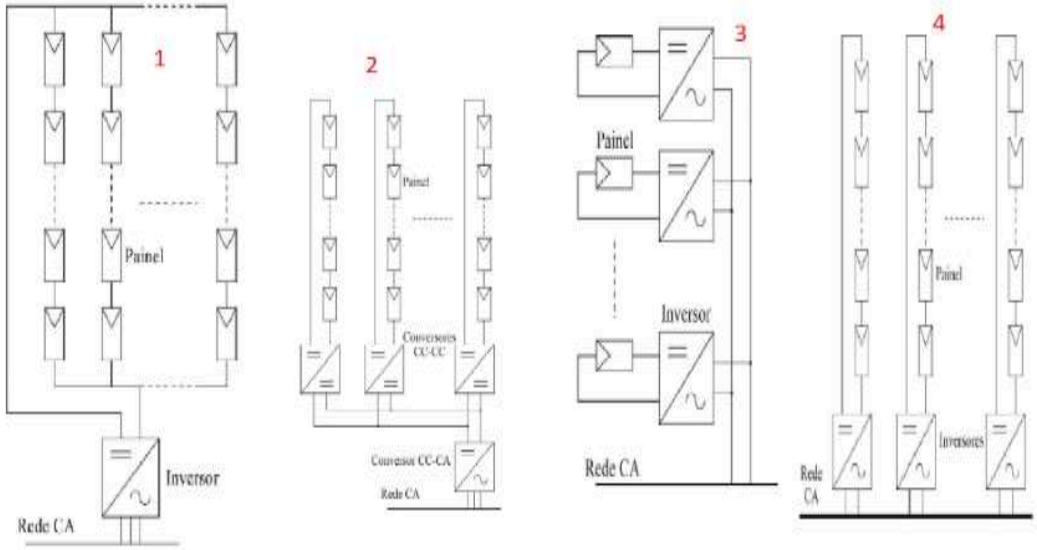
Figura 6-Inversor de um único estágio (1), dois estágios (2) e múltiplos estágios (3)



Fonte: CASARO; MARTINS, 2010

Com um estágio único faz-se o MPPT e em seguida o controle de corrente injetada na rede. Com dois estágios um conversor CC-CC realiza o MPPT enquanto um conversor CC-CA é responsável pelo controle da corrente injetada na rede. No múltiplo estágio vários conversores CC-CC respondem pelo MPPT e um único conversor CC-CA cuida da corrente injetada na rede. Na prática estas topologias podem ser apresentadas em quatro configurações diferentes: Inversor centralizado, CC paralelo, Inversor Integrado e CA paralelo (Figura 7).

Figura 7-Configurações de Inversor Centralizado (1), CC paralelo (2), Inversor Integrado (3) e CA paralelo (4)



Fonte: CASARO; MARTINS, 2010

Com o inversor centralizado os módulos fotovoltaicos são ligados em série para formar uma fileira, as fileiras são conectadas em paralelo para formar um arranjo que fornece energia a um barramento CC de um inversor. Na configuração CC paralelo as fileiras ou arranjos são conectados a conversores CC-CC. Um único barramento CC interno alimenta um conversor CC-CA. Na configuração CA paralela às fileiras ou arranjos conecta-se a inversores individuais, as saídas destes inversores são ligadas internamente em paralelo ao lado CA, com o inversor integrado cada módulo possui um pequeno inversor que é ligado em paralelo do lado CA. Na Tabela 1 se tem as opções de implementação com base nas configurações e topologias comentadas.

Tabela 1-Opções de Implementação de um Sistema Fotovoltaico

Configurações	**Topologias**		
	Inversor de um estágio	Inversor de dois estágios	Inversor de Múltiplos Estágios
Inversor Centralizado	OK	OK	X
CC paralelo	X	X	OK
CA paralelo	OK	OK	X
Inversor Integrado	OK	OK	X

Fonte: CASARO; MARTINS, 2010

Fatores como potência de instalação, ambiente onde o futuro usuário se encontra aspectos físicos relacionados ao local onde ficarão as placas e o custo da implementação do sistema fotovoltaico influenciam na escolha do tipo de topologia e no tipo de configuração que serão aplicadas em um determinado projeto. O inversor centralizado é adequado a uma instalação que possua uma potência instalada entre 20 e 400 kW, o inversor integrado é ideal em locais onde há muito sombreamento (Costa (2015) afirma que formação de sombras advindas de árvores, edificações, caraterísticas do local a ser instalado entre outras. Afetam o desempenho dos módulos fotovoltaicos) além do fato de possibilitar aumento da eficiência energética, no entanto, apresenta um custo elevado de instalação, devido a necessidade de uma maior quantidade de inversores. A configuração CC paralelo é indicada a situações em que se tem vários painéis com orientações diferentes submetidos a diferentes condições de irradiações e temperatura, a configuração CA paralelo era muito utilizada nos anos 90 contendo nenhuma perda por associação de módulos e sendo utilizado em baixas potências , no entanto, possuía baixa eficiência e menor vida útil em relação aos inversores de maiores potências, com o aumento das potências dos inversores os micro inversores sumiram do mercado. Uma nova geração de micro inversores que apresenta maior eficiência, confiabilidade e vida útil surgiram no mercado o que fez com que essa configuração passasse a ser usada novamente (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2022).

Os conectores utilizados para instalação de energia solar são os chamados conectores MC4 desenvolvidos e patenteados pela empresa alemã *Multi Contact* especialmente direcionado para energia solar. Houve gerações anteriores, mas o conector MC4 se estabeleceu como um padrão mundial para este tipo de finalidade (SUNERGIA, 2018).

Todos os cabos e condutores devem estar preferencialmente dispostos dentro de eletrodutos, nos condutores instalados nos telhados deve-se tomar cuidado de modo que tais condutores não sejam fixados de forma a obstruir a passagem de água oriunda de chuvas não limitando a capacidade de escoamento do telhado. Recomenda-se também que estes condutores também sejam resistentes a radiação solar, não propaguem chama e que quando forem instalados não fiquem de forma muito exposta, de modo a não acelerar seu processo de desgaste com base nos critérios da NBR5410 (consiste na norma brasileira regulamentadora que estipula o funcionamento usual e seguro das instalações elétricas para valores máximos de 1000 V para corrente alternada e 1500 V em corrente contínua).

É recomendável para que os cabos que conduzam corrente CC possuam isolação de borracha etileno propileno com baixa emissão de fumaça a 90 °C e cobertura de composto termoplástico com características especiais a não propagação da mesma. Havendo necessidade de caixas de junção às mesmas não devem ser de materiais corrosivos, os inversores terão que ficar despostos em local coberto e isolado, principalmente de pessoas não qualificadas (RONCOLATTO *et al.*, 2018).

As baterias utilizadas operam em condição de carga e descarga irregulares, longos períodos em baixa carga ou em sobrecarga e sobre variações de temperatura, o consumo diário é praticamente concentrado a noite considerando geralmente iluminação, Rádio e TV e há usos de alguns eletrodomésticos durante o dia (COPETTI; MACAGNAN, 2022) e atualmente é muito comum deixar roteadores que possibilitam Internet via Wi-Fi ligados de forma intermitente. Na Figura 8 tem-se uma ideia básica de como todos os componentes apresentados e comentados ficam dispostos em uma instalação fotovoltaica em conjunto com a rede elétrica.

Figura 8- Instalação Fotovoltaica Completa

Fonte: FARIAS; AZEVEDO; SANTOS, 2022

A instalação apresentada na Figura 8 consiste em uma instalação do tipo *on-grid* (pode ser traduzido para o português como em rede) que é designação dada aos sistemas fotovoltaicos ligados a rede pública de distribuição, no momento em que a produção de energia está baixa, o sistema utiliza rede proveniente da empresa distribuidora de energia, estando a produção de energia alta o excedente é repassado para a rede pública, retornando em forma de créditos para os usuários. Já o sistema *off-grid* (sistema isolado ou autônomo) tem sua energia excedente armazenada em baterias e não possui ligação com a rede pública. A energia armazenada em baterias é usada quando não há produção (CWSE, 2022). Os sistemas autônomos além do uso de baterias também utilizam um dispositivo chamado controlador de carga que impede que as baterias descarreguem em excesso.

2.6-IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Os benefícios sociais advindos da instalação de empreendimentos solares estão no processo industrial quando promovem a formação de empregos na fabricação de módulos, inversores e acessórios de montagem, sem falar na geração de empregos em prestadoras de serviços de projetos e montagens de usinas (MARQUES, 2021).

Por não consumir combustíveis, não deixar resíduos que contaminariam o meio ambiente, ter uma vida útil estimada de aproximadamente 20 anos, ser resistente às adversidades climáticas, não possuir peças móveis o que possibilita uma baixa necessidade de manutenção, limpeza e também possibilita um aumento de potência através da implementação de mais componentes (SILVA; ARAÚJO, 2022) a energia fotovoltaica do ponto de vista ambiental revela-se uma excelente a alternativa, no entanto, o nosso país ainda encontra-se bastante atrasado ainda no desenvolvimento desta energia.

2.7-TARIFAS DE ENERGIA E TIPOS DE CONSUMIDORES

Para a análise de retorno financeiro de um futuro proprietário de energia solar devem ser levados em consideração os seguintes aspectos: Tipos de conexão (bifásica, monofásica ou trifásica), consumo mensal de energia da energia da rede elétrica, impostos incidentes sobre a tarifa de energia e possíveis aumentos destes impostos (MONTENEGRO, 2013).

Todos os tipos de conexão são realizados em corrente alternada, a conexão monofásica consiste em uma conexão com dois fios (fase e neutro) no qual se opera nas tensões de 127 e 220 V e tem potência de instalação inferior a 12 kW. A conexão bifásica é feita a três fios (duas fases e um neutro) no qual se pode ter as tensões de 220V entre fases ou entre fase e neutro e 127 ou 110 V entre fase e neutro, em que a potência de instalação é maior que 12kW e menor que 25Kw.A instalação trifásica é feita através de quatro condutores (três fases e um neutro) com tensões de 110 ou 127 V entre fase e neutro e 220 V entre fase e fase ou entre fase e neutro, é utilizado em situações em que a potência de instalação é maior que 25 kW e inferior a 75 kW ou quando houver motores elétricos trifásicos ligados a instalação (JÚNIOR, 2020).Vale ressaltar em que alguns locais do Brasil, se opera com a tensão entre fases de 380 V também.

Para se avaliar o gasto do consumo é necessário determinar qual o tipo de consumidor. No Brasil, os consumidores podem ser divididos em dois grandes grupos A e B(AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, 2021), onde o grupo A pode ser subdivido em A1(Tensão de conexão maior ou igual a 230 kV) , A2(Tensão de conexão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV) , A3 (Tensão de conexão de 69 kV), A3a (tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV), A4(Tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV) e AS (Rede Subterrânea com tensão menor ou igual a 2,3 kV) .O grupo A é composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV ; ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV. O grupo B corresponde as unidades con-

sumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e se subdivide em B1(Residencial), B2(Rural), B3(demais classes) e B4(Iluminação Pública). Estas divisões podem sofrer modificações de acordo com a região onde uma determinada empresa fornecedora de energia. No Rio Grande do Norte a concessionaria é a COSERN (Companhia Energética do Rio Grande do Norte S.A) no qual esta pesquisa se baseará.

Além do tipo de consumidor tem-se também a tarifação o modo como se faz a cobrança da energia é instalada e utilizada. Pode-se dividir no sentido de tarifação em três grupos (SILVA, 2022) o grupo verde (consumidores A4, A4-Rural, A4-Rural Irrigante e A4 - Serviço público de Água, Esgoto e Saneamento), o grupo azul (A2, A3, A3-Rural, A3-Rural Irrigante, A4, A4-Rural, A4-Rural Irrigante e A4-Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento) e o grupo Branco (B1-Residencial, B1-Residencial baixa renda, B1-Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola, B2-Rural/Cooperativa de Eletrificação Rural, B2-Rural Irrigante, B2-Serviço Público de Irrigação; B3-Comercial, Serviços e outras atividades; B3-Serviço Público de Água, esgoto e saneamento; B4a-Rede de distribuição e B4B-Bulbo de lâmpada).

A tarifa Branca leva em consideração os consumos ativos, na ponta, fora de ponta, e no período intermediário entre estes dois horários para os consumidores B1 do tipo Residencial, Residencial Baixa Renda, Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola, B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural, B2-Rural Irrigante, B2-Serviço Público de Irrigação; B3-Comercial, Serviços e outras atividades; B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento; B4a-Rede de distribuição e B4b-Bulbo de lâmpada. O Horário de ponta corresponde a um horário de três horas consecutivas de 18 horas às 21 horas excluindo sábados, domingos e feriados, já o horário fora de ponta pode variar de acordo com a concessionaria de energia, mas, geralmente é o horário das 00:00 às 17:59 e das 21:00 as 23:59 (ESFERABLOG INTELIGÊNCIA É ENERGIA, 2022). Levando-se em consideração somente o consumo ativo tem-se a Equação 1.

$$P_{ca} = T_{ca} . C_a \tag{1}$$

Onde:

- P_{ca} → Parcela de consumo ativo (em R$)
- T_{ca} →Tarifa de consumo de energia no período ativo (em R$/kWh)
- C_a →Consumo no período ativo (em kWh)

Na Tabela 2 têm-se as tarifas de consumo no período ativo para os consumidores B1-Residencial, B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural, B2-Rural Irrigante, B2-Serviço Público de Irrigação, B3-Comercial, Serviços e outras atividades, B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento, B4a-Rede de distribuição e B4b-Bulbo de lâmpada.

Tabela 2- Tarifa de consumo ativo consumidores do grupo B COSERN, Grupo Branco

Membros do Grupo	**Valores de tarifa T_{ca} (R$/kWh)**
B1-Residencial	0,67223
B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural	0,6319
B2-Rural Irrigante	0,6319
B2-Serviço Público de Irrigação	0,61845
B3-Comercial, Serviços e outras atividades	0,67223
B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento	0,65206310
B4a-Rede de distribuição	0,36973
B4b-Bulbo de lâmpada	0,40334

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Para os grupos B1- Residencial Baixa Renda e B1- Baixa Renda Indígena e Quilombola é cobrada somente a parcela de consumo ativo, estas tarifas variam de acordo com a faixa de potência da instalação elétrica e também se possibilita a estes subgrupos faixas de desconto (Tabela 3) dependendo do seu padrão de consumo.

Tabela 3-Tarifa consumo intermediário do grupo B COSERN, Grupo Branco

Membros do Grupo	**Valores de tarifa T_{ca} (R$/kWh)**
B1-Residencial de Baixa Renda (0 a 30 kWh -65 % de desconto)	0,21558250
B1-Residencial de Baixa Renda (31 a 100 kWh -40 % de desconto)	0,36957
B1-Residencial de Baixa Renda (101 a 220 kWh -10 % de	0,554355000

desconto)	
B1-Residencial de Baixa Renda (Acima de 220 kWh)	0,61595000
B1-Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola (0 a 50 kW)	0
B1-Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola (51 a 100 kW-40% de desconto)	0,36957
B1-Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola (101 a 220 kW-10% de desconto)	0,554355
B1-Residencial Baixa Renda Indígena e Quilombola (Acima de 220 kW)	0,61595

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Para os grupos B1-Residencial, B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural, B2-Rural Irrigante, B2-Serviço Público de Irrigação, B3-Comercial, Serviços e outras atividades e B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento, além da cobrança referente a parcela de consumo ativo há uma parcela referente ao período de ponta, fora de ponta, e o período entre estes horários (intermediário), em que a parcela total de consumo leva em consideração todos estes fatores (Equação 2).

$$P_{ct} = T_{ca}.C_a + T_{Pi}.C_{pi} + T_p.C_P + T_{fp}.C_{fp} \quad (2)$$

Onde:

- P_{ct} → Parcela de consumo Total (em R$)
- T_{pi} →Tarifa de consumo de energia no período intermediário (em R$/kWh)
- C_{pi} →Consumo no período intermediário (em kWh)
- T_p→Tarifa na Ponta (em R$/kWh)
- C_P→Consumo na ponta (em kWh)
- T_{fp}→ Tarifa de consumo de energia fora de ponta (em R$/kWh)
- C_{fp} →Consumo fora de ponta (em kWh)

Na Tabela 4 têm-se os valores referentes às Tarifas de consumo de energia no período intermediário e na Tabela 5 têm-se os valores referentes ao consumo de ponta e fora de ponta dos consumidores dos grupos B1-Residencial, B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural, B2-Rural Irrigante, B2-Serviço Público de Irrigação, B3-Comercial, Serviços e outras atividades e B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento. As demais especificações dos demais grupos estão presentes nos apêndices.

Tabela 4- Tarifa consumo intermediário do grupo B COSERN, Grupo Branco

Membros do Grupo	**Tarifa de Consumo Intermediário em (R$/kWh)**
B1-Residencial	T_{ci}=0,93006
B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural	T_{ci}=0,87425
B2-Rural Irrigante	T_{ci}=0,87425
B2-Serviço Público de Irrigação	T_{ci}=0,85565
B3-Comercial, Serviços e outras atividades	T_{ci}=0,89567
B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento	T_{ci}=0,8687999

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Tabela 5-Tarifas consumo ponta e fora de ponta consumidores grupo B COSERN, Grupo Branco

Membros do Grupo	**Valores de tarifa T_p e T_{fp} (R$/kWh)**	
B1-Residencial	T_p =1,4754	T_{fp} =0,55753
B2-Rural /Cooperativa e Eletrificação Rural	T_p =1,38688	T_{fp} =0,52408
B2-Rural Irrigante	T_p =1,38688	T_{fp} =0,52408
B2-Serviço Público de Irrigação	T_p =1,35737	T_{fp} =0,51293
B3-Comercial, Serviços e outras atividades	T_p =1,41809	T_{fp} =0,54607
B3-Serviço Público de Água esgoto e saneamento	T_p = 1,37554	T_{fp} =0,52968

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

2.8-DIMENSIONAMENTO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

O primeiro passo para se dimensionar uma instalação fotovoltaica é calcular a energia gerada pelo sistema (Equação 3).

$$G_M = P_m . h . d_m . r_g \quad (3)$$

Em que:

- $G_M \rightarrow$ corresponde a geração média em kWh
- $P_m \rightarrow$ Potencia do módulo em W
- $h \rightarrow$ horas de radiação solar máxima (em horas)
- $d_m \rightarrow$ dias no mês
- $r_g \rightarrow$ rendimento global

O módulo pode ser entendido na prática como as placas solares, as horas de radiação solar máxima correspondem aos picos de geração de energia solar que normalmente considera-se entre 10 horas da manhã até às 15 horas à tarde (SOLAR VALLE ENERGIA SOLAR, 2022), ou seja, pode-se adotar o valor de 5 horas para esta grandeza. O CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) fornece uma ferramenta chamada *SunData* em que se pode obter dados relevantes que podem auxiliar na execução de um projeto fotovoltaico. É sabido que um mês possui um número de dias entre 28 e 31 dias, no entanto, para a Equação 3 considerasse o valor de um mês comercial (30 dias). A energia solar é considerada uma fonte de energia intermitente, porém emissão dos raios de sol ocorre de forma contínua. A interrupção do seu aproveitamento ocorre além entre outros fatores aos movimentos de rotação e translação da Terra (SHAYANI, 2006) com base nisso, através de estudos climáticos criou-se a nomenclatura de rendimento global em que no caso do Brasil esta perda é normalmente de 25 % na Região Sul e no Norte e Nordeste de 20%. Fazendo com que os valores de rendimento global adotados para estas regiões sejam respectivamente 0,75 e 0,8(CWSE, 2022).

Na ferramenta *SunData* inserindo-se a latitude e a longitude do local (o município onde a instalação será feita) pode-se obter dados relevantes a respeito do local onde a instalação ocorrerá. Pode-se determinar o número de módulos fotovoltaicos dividindo-se o consumo de

energia em kWh pela capacidade de geração do módulo aplicado à instalação fotovoltaica (Equação 4).

$$N°(m) = \frac{C_e}{C_m} \tag{4}$$

Em que:

- $N°(m)$→ Número de módulos
- C_e→ Consumo de Energia Elétrica em kWh
- C_m→ Capacidade de Geração de um módulo fotovoltaico em kWh

Como qualquer sistema sujeito a manutenções um sistema fotovoltaico está sujeito a manutenções preventivas, preditivas e corretivas. No qual a manutenção preventiva consiste na limpeza periódica dos painéis solares, em que, esta atividade pode ser realizada uma vez por ano, ou a cada seis meses, é importante observar as condições atmosféricas do local, locais com menor índice de chuvas ou com índices elevados de poluição pode exigir limpeza mais frequente, no qual, os produtos recomendados são água, panos e/ou esponjas com cerdas macias, é totalmente desaconselhável o uso de produtos químicos abrasivos, itens com possibilidade de perfuração ou aplicação de qualquer substância em forma de jato direto. A manutenção preditiva consiste em realizar uma inspeção visual periódica no painel a fim de identificar arranhões, manchas, rachaduras ou indícios de quebra, uma vez que estes procedimentos são realizados e se faz necessário à substituição de determinados tem-se uma manutenção corretiva. Os procedimentos de manutenção devem ser realizados de forma segura de acordo com as normas NBR 16690, NBR 5410 e NBR10. O acúmulo de resíduos ao longo do tempo pode ocasionar manchas nas placas solares, favorecer o surgimento de fungos e causar corrosão nos painéis, reduzindo sua vida útil, que é normalmente de 25 a 30 anos (CWSE, 2022).

Uma vez estando a instalação ativa é possível calcular em quanto tempo consegue-se recuperar o dinheiro investido na instalação (Equação 5). O *Payback* (pode ser traduzido como retorno de pagamento) corresponde ao tempo em anos do valor investido para instalação e aplicação do empreendimento (SOLAR 2021).

$$P_b = \frac{V_i}{E_g \ .12.P(kWh)} \tag{5}$$

Em que:

- P_b →Corresponde ao *Payback* dado em anos
- E_g →Corresponde a energia gerada por mês dada em kWh/mês
- $P(kWh)$→Preço do kWh dado em reais R$
- V_i→Valor da instalação em reais R$

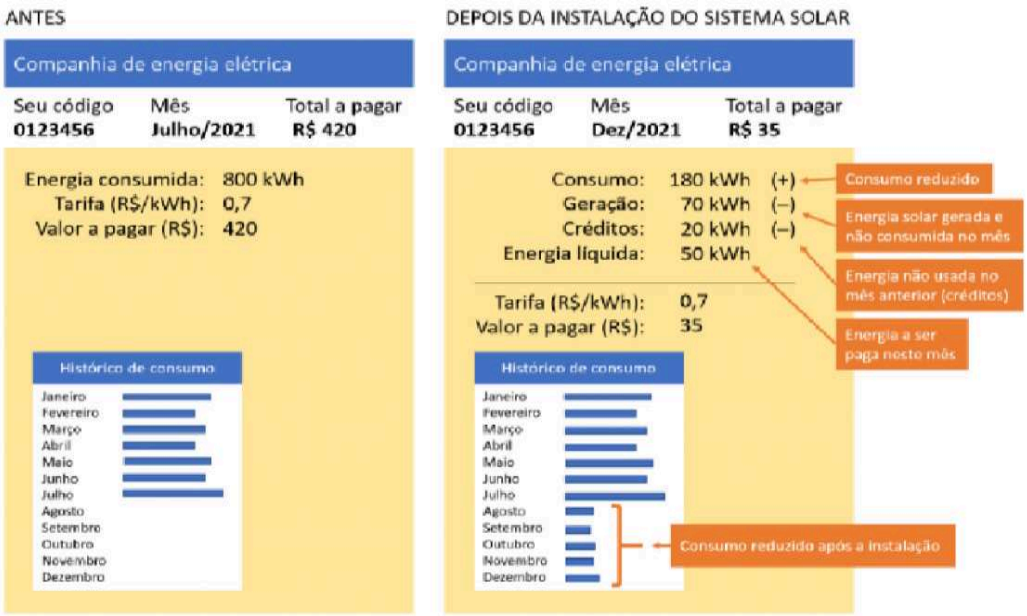
O valor da instalação corresponde em resumo a soma do custo referente ao material da instalação, a mão de obra e o custo referente ao projeto elétrico da instalação. O número 12 presente na Equação 5 corresponde ao número de meses no qual um ano tem. Multiplicando-se todos os termos do denominador da mesma equação tem-se o valor em reais do quanto é gasto em kWh em um ano do local no qual será instalado o sistema fotovoltaico.Como o numerador corresponde ao valor total de custo de implementação desta instalação, dividindo-se pelo denominador obtém-se o tempo em anos necessário para recuperar todo o custo do empreendimento. O valor atualizado para o preço do kWh cobrado pela COSERN é de R$ 0,66 (AGORARN, 2022).

Vale ressaltar que assim como as tarifas já abordadas o valor do preço do kWh está sujeito a reformulações anuais, observando-se mais uma vez a Equação 5 percebe-se que o valor do preço dos kWh é indiretamente proporcional ao valor do *Payback*, ou seja, havendo aumento no valor do preço do kWh mais rápido consegue-se recuperar o investimento aplicado a construção e implementação da instalação fotovoltaica. Isto representa uma vantagem e um forte incentivo à aquisição da energia solar, pois mesmo, em situações de aumento da conta de energia consegue-se obter uma economia bastante satisfatória na conta de luz, além de um retorno mais rápido de investimento do empreendimento solar.

2.9-MUDANÇAS NA CONTA DE LUZ APÓS A INSTALAÇÃO

O sistema de geração de energia solar pode ser entendido como um sistema de compensação de energia elétrica. Na fatura de um usuário contendo sistema fotovoltaico tem-se além dos itens já abordados o item referente a geração de energia (ENERGIA, 2022). O desconto será a diferença entre a energia consumida e a energia gerada (Figura 9) sendo que a taxa referente a iluminação pública ainda será cobrada.

Figura 9-Exemplo de mudança na conta de luz antes e depois da energia solar



Fonte: CANAL SOLAR, 2021

Na Figura 9 tem-se um exemplo geral da configuração de uma conta de luz de um consumidor contendo o sistema fotovoltaico onde se tem um consumo de 180 kWh onde o valor a ser pago será a subtração geração de 70 kWh mais os créditos (20 kWh) que corresponde ao excedente de energia gerada referente ao mês anterior em relação à energia consumida, o cálculo em tese deveria dar 90 kWh e não 50 kWh, no entanto, o exemplo leva em consideração o fato de que algumas concessionarias (se não todas) cobram a taxa mínima de consumo, que para este caso é 50 kWh. Apesar de à primeira vista isto representar uma vantagem, na verdade, esta taxa é aplicada tanto em casos em que ocorre uma ultrapassagem (no caso da Figura 9 subentende-se que até 90 kWh só será cobrado 50 kWh) como em casos em que a diferença entre a energia gerada e a consumida é igual a zero (supondo-se que na Figura 9 fosse gerado 160 kWh ao invés de 70 kWh , somando-se com os 20 kWh do mês anterior daria 180 kWh que por sua vez como é um valor igual ao consumo iria se anular, contudo , iria ser cobrado o valor referente a um consumo de 50 kWh também).Na mesma figura a tarifa apresentada para a determinação em R$ do kWh é de 0,7 R$/kWh. Os padrões e valores onde esta taxa entra em vigor sofrem variação dependendo da concessionaria. Na fi-

gura também se tem um comparativo entre quanto o suposto consumidor pagava antes de ativar a energia solar, percebe-se a diferença de gastos que é bem relevante.

No dia 07/01/2023 entrou em vigor o projeto de lei 14300, no qual, o mesmo permite que ocorra a taxação em cima dos créditos solares e aqueles que ativaram o seu sistema fotovoltaico antes desta data estão isentos desta lei até 2045 (CANAL RURAL, 2023). Com base, nisso subentende-se que o suposto projeto apresentado nesta pesquisa tenha sua data de ativação no dia 01/01/2023.

3- ESTUDO DE CASO

O imóvel em que se fará o estudo de caso localiza-se na cidade de Mossoró-RN. Para se determinar a viabilidade de uma instalação fotovoltaica é preciso primeiramente determinar o valor da instalação (V_i), a energia gerada por mês (E_g). O valor da energia gerada pelo imóvel pode ser determinado analisando o histórico de consumo de um determinado imóvel durante um ano (Tabela 6).

Tabela 6-Valores consumo do proprietário do imóvel a ser instalado energia solar

Mês	Valor do consumo em kWh
Janeiro	149
Fevereiro	157
Março	172
Abril	152
Maio	160
Junho	175
Julho	151
Agosto	154
Setembro	188
Outubro	187
Novembro	178
Dezembro	175

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Os valores presentes na Tabela 6 podem ser obtidos através da fatura de Energia ou mediante cadastro dentro do *site* da distribuidora. Com os valores faz-se uma média aritmética simples para se obter o valor em kWh da energia consumida pelo imóvel em um mês no qual obtêm-se o resultado 166,5 kWh; este valor será arredondado para 167 kWh, em cálculos de dimensionamento de energia solar recomenda-se arredondar para mais. O valor obtido aproximado deste cálculo pode ser entendido como a geração média (G_M) presente na Equação 3, todavia, o valor a ser utilizado em cálculos posteriores corresponderá a este valor considerando 20% a mais, isto é aproximadamente G_M =201 kWh. O motivo desse adicional de 20 %

é devido ao fato que é uma tendência natural de quem adquire um sistema fotovoltaico ampliar seu padrão de consumo, por isso é interessante que durante a execução do projeto tenha-se essa folga de potência. Como já abordado, na Equação 3 os valores correspondentes as horas (h) é igual a 5 horas, os dias do mês é igual a 30 e o rendimento global a ser considerado é de 0,8 já que o imóvel se localiza na região Nordeste (mais especificamente em Mossoró-RN). Assim tem-se:

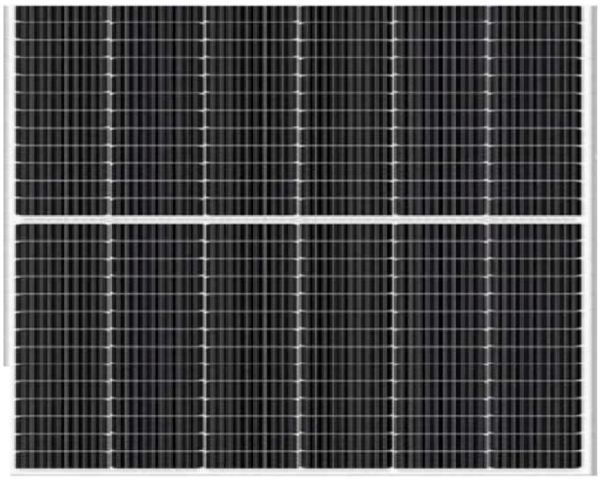
$$G_M = P_m \,.\, h.\, d_m.\, r_g$$

$$201 \text{ kWh} = P_m \,.5h.\, 0{,}8\,.30$$

$$P_m = 1{,}675 \text{ kW/dia}$$

O módulo há ser utilizado para a futura instalação tem que gerar no mínimo uma potência de 1,675 kW/dia. Na Figura 10 tem-se o modelo do módulo selecionado.

Figura 10-Módulo Fotovoltaico Selecionado



Fonte: OPUS SOLAR, 2023

O módulo selecionado teve como critérios de escolha o mínimo valor de geração de energia e também o valor mais barato possível. Cada um dos módulos possui uma potência de 550 W, se utilizarmos 3 módulos tem-se uma potência ligeiramente menor que a calculada, ao invés de 1,675 kW/dia tem-se 1,650 kW/dia; sendo assim; serão utilizados 4 módulos sendo que a potência utilizada será maior que a potência calculada, ou seja, ao invés de 1,675 kW/dia tem-se 2,2 kW /dia. Se mantiver os três módulos o valor embora ligeiramente menor

estará de acordo com a instalação e proporcionara uma economia significativa no projeto, contudo, será mantido os 4 módulos de modo que o proprietário tenha acesso há uma folga maior de potência caso queira ampliar seu consumo futuramente e também possa usufruir dos créditos energéticos. Com base nisso, se faz necessário refazer o cálculo da geração média (G_M).

$$G_M = P_m \,.\, h.\, d_m.\, r_g$$

$$G_M = (2{,}2 \text{ kW /dia}).5\text{h}.30\text{dias}.0{,}8$$

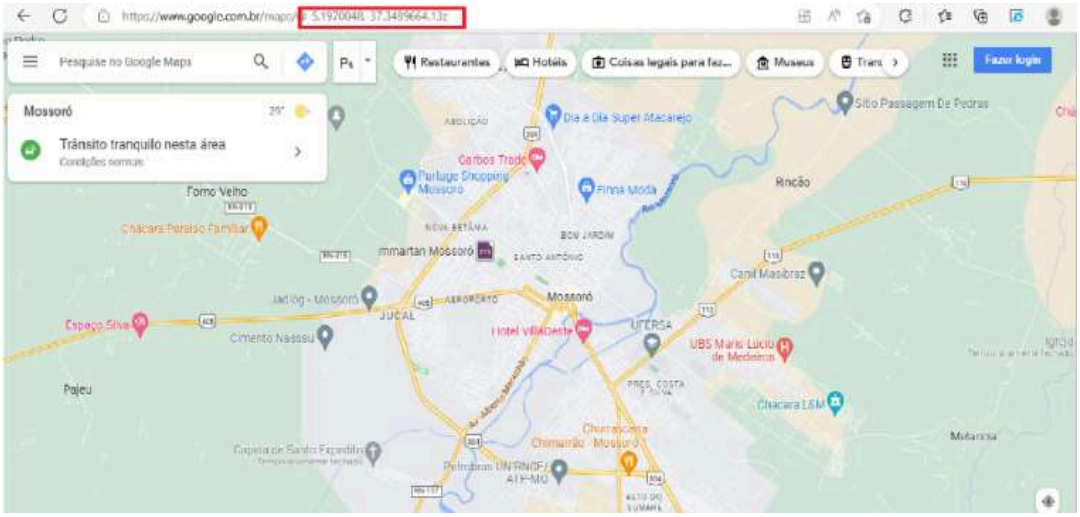
$$G_M = 264 \text{ kWh}$$

O modelo de módulo selecionado possui as dimensões em milímetros de 2279*1134*35 (base, altura e espessura das placas). Com base neste dado pode-se estipular a área em metros quadrados levando-se em consideração os 4 módulos $A_{Módulos}$= 10,337544 m^2. Com valor desta área e a potencias dos módulos (P_m) multiplicada pelas horas de radiação solar máxima(h) pode-se obter a Irradiação Solar Média.

$$\frac{2{,}2\,\frac{kW}{dia}*(5\text{h})}{10{,}337544 \text{ m2}} \approx 1{,}06 \text{kWh/m}^2.\text{dia}$$

O valor obtido corresponde a Irradiação solar Média que pode ser captada pelos 4 módulos juntos. Como já fora mencionado anteriormente através da ferramenta *SunData* pode-se obter dados referentes a energia gerada do local, pois bem estes dados correspondem a Irradiação Solar Média do município onde uma possível instalação solar fotovoltaica poderá entrar em atividade, onde para se ter acesso a tais dados é necessário informar ao *SunData* a latitude e a longitude. Para se ter acesso a latitude e a longitude do local, pode-se utilizar o *Google Maps* (Na Figura 11, a latitude e a longitude estão destacados em vermelho). Os valores da latitude e longitude presentes na Figura 11 para o município de Mossoró são 5,1970048° e 37,348966413°.

Figura 11- Latitude e Longitude de Mossoró-RN



Fonte: GOOGLE MAPS, 2023

Os valores da latitude e longitude presentes na Figura 11 quando inseridos na ferramenta SunData faz com que a mesma forneça os dados de geração referente ao município de Mossoró-RN (Figura 12) os dados apresentados são correspondentes ao ano de 2022 onde com base nas faixas de variações da latitude e longitude entre os valores de 5,1970048° e 37,348966413 é explicitada uma média e uma variação (delta) da irradiação solar média.

Figura 12-Valores de Irradiação Solar Média para o Município de Mossoró-RN

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m^2.dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☑	Mossoro	Mossoro	RN	BRASIL	5,201° S	37,349° O	,4	5,85	5,86	5,93	5,56	5,26	4,93	5,21	5,86	6,24	6,39	6,45	6,08	5,80	1,52
☑	Mossoro	Mossoro	RN	BRASIL	5,101° S	37,349° O	10,7	5,96	5,91	5,88	5,52	5,31	4,98	5,26	5,91	6,34	6,42	6,54	6,25	5,85	1,56
☑	Mossoro	Mossoro	RN	BRASIL	5,201° S	37,249° O	11,1	5,80	5,77	5,84	5,55	5,25	4,90	5,18	5,85	6,25	6,38	6,39	5,95	5,76	1,50

Fonte: CRESESB, 2023

Para determinar a Irradiação Solar Média do município pode-se fazer a média das médias referente a cada uma das variações de latitude e longitude ($\frac{5,8+5,85+5,76}{3} \approx 5,80\,\frac{kWh}{m^2 dia}$). O valor da irradiação solar média das placas é de 1,06kWh/m^2.dia que é um valor menor que 5,8kWh/m^2.dia , isso significa dizer que as placas estão com uma capacidade de geração em que podem funcionar normalmente do local onde serão instaladas, se o valor da irradiação solar média das placas estivesse maior do que 5,8kWh/m^2.dia significa que seria necessário fazer um redimensionamento ou substituição das placas de modo a se adequar a irradiação solar média do local.

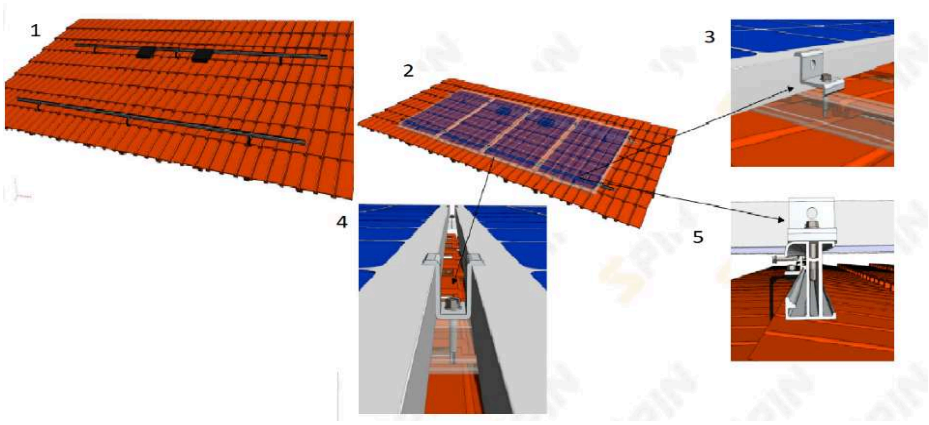
Com base nessas informações dimensionou-se os painéis solares ,4 módulos de 550 W, totalizando 2,2 kW. Antes do dimensionamento dos demais componentes será abordado as estruturas de fixação e também os aspectos relacionados a execução do serviço de instalação das placas. O tipo de telhado utilizado no imóvel onde será colocado as placas é um telhado do tipo cerâmico. Na Figura 13 tem-se uma ilustração de como é realizada a fixação das placas.

Figura 13-Fixação dos suportes para as placas solares

Fonte: ESTRUTURAS SPIN, 2023

Uma vez fixando os suportes o próximo passo é fixar os trilhos de sustentação das placas (Figura 14).

Figura 14- Placa Solar montada com suporte e trilhos



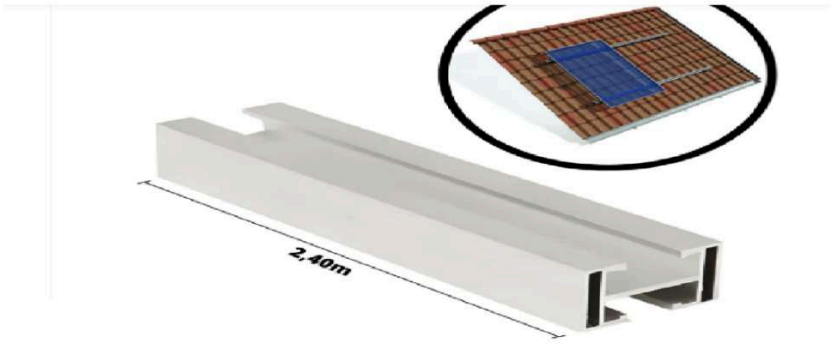
Fonte: ESTRUTURAS SPIN, 2023

Uma vez fixando-se os suportes no telhado executa-se a fixação dos trilhos formando assim as estruturas em que as placas ficarão alojadas (Figura 14, 1). Uma vez estando as placas alojadas (Figura 14,2) se faz a fixação das placas nos suportes (Figura 14,3 e 5) e também a fixação entre placas (Figura 14,4). Baseando-se nestas informações e no que está apresentado na Figura 14 a quantidade de suportes para a futura instalação será seis (Figura 15). Os trilhos há serem utilizados possuem 2,40 metros cada (Figura 16).

Figura 15- Suportes Fixadores para Placa Painel Solar Alumínio e Inox Para Telha Cerâmica e Cimento

Fonte: JANELA E CIA, 2022

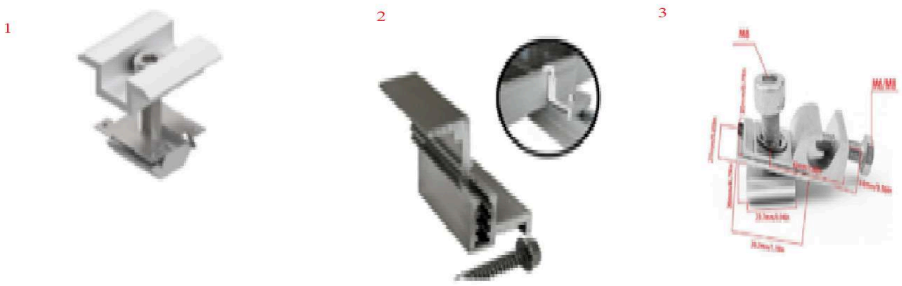
Figura 16-Perfil barra trilho de 2,40 m para placas solares



Fonte: JANELA E CIA, 2022

As placas solares adquiridas têm um comprimento de 2,279 metros; como são 4 placas então tem-se um comprimento total de 9,116 metros; sendo assim; para a futura instalação se faz necessário instalar dois pares de trilhos em cima e em baixo, para se colocar as 4 placas obtendo um comprimento total em cima e embaixo de 9,60 metros que é mais do que suficiente para alojar as placas. Para a fixação das placas solares serão utilizados seis pinos intermediários e quatro pinos finais (Figura 17), estes últimos ficarão em cada extremidade dos trilhos. Os pinos intermediários possuem um clipe de equipotencialização que será abordado de forma mais detalhada adiante, quando for abordado o aterramento da instalação. No final de cada trilho também será instalado dois pinos de aterramento (Figura 17).

Figura 17-Principais tipos de pinos de fixação de placas solares: Pinos intermediários (1), Pinos finais (2) e Pinos de aterramento (3)



Fonte: ALI EXPRESS, 2023

O próximo passo da instalação é dimensionar o inversor e o *string box* (elemento que fica entre as placas e o inversor). Para dimensiona-los faz-se necessário saber a potência total dos módulos instalados e a configuração da conexão dos painéis solares. O módulo apresentado na Figura 10 além de possuir uma potência de 550 W por módulo, possui outras características explicitadas na Tabela 7.

Tabela 7-Especificações do módulo solar selecionado

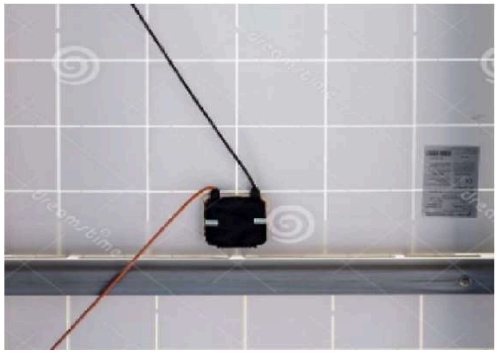
Especificação	**Detalhamento**
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	$49{,}82 \pm 3$ % V
Corrente de curto circuito (I_{sc})	$11{,}20 \pm 3$ % A
Tensão de potência nominal (V_{mp})	42,10 V
Corrente de potência nominal (I_{mp})	13,06 A
Eficiência	21,3%
Temperatura de Operação	Entre 40°C e 85°C
Tensão máxima do sistema	1500V (IEC)/600V(UL)

Fonte: OPUS SOLAR, 2023

A tensão de circuito aberto (V_{oc}-*Volt Open Circuit)* corresponde a tensão máxima que o módulo solar pode entregar a uma carga sob determinadas condições de radiação e de temperatura em uma condição de circulação de corrente nula, ou seja, sem carga. A Tensão de potência nominal (V_{mp}) corresponde à tensão entregue a carga a máxima potência, a corrente de potência nominal (I_{mp}) é a corrente circulante nesta mesma condição de operação (SOLAR BRASIL, 2017). A corrente de curto circuito (I_{sc} o SC significa *Short Circuit,* curto circuito) corresponde a corrente que se pode obter quando a tensão no terminal das placas (Figura 18) é igual a zero (CANAL SOLAR, 2019). A tensão máxima do sistema é a máxima tensão de operação que podem ser definidas no padrão INMETRO que por sua vez se baseiam na IEC (*International Eletrothecnical Comission* -Comissão Eletrotécnica Internacional) ou na UL (*Underwriters Laboratories*) que corresponde a um laboratório americano independente dedicado a realização de testes de segurança em produtos diversos(CODIMARC, 2014).A determinação dos valores de tensão determinam-se por meio de ensaios específicos para tal finalidade.

Todas essas informações são necessárias para o dimensionamento da *string box* e do inversor. A *string box* corresponde uma caixa em que as conexões (*strings*) antes de chegar ao inversor são conectadas a um dispositivo de proteção que podem ser fusíveis e/ou disjuntores habilitados a trabalhar em corrente continua. A geração de energia nos módulos fotovoltaicos se faz em correntes continua pelas placas e é convertida em corrente alternada através do inversor. O número de disjuntores ou fusíveis vai depender da quantidade de placas e de como esta as ligações das placas. A temperatura média anual de Mossoró é de 27,8°C (CLIMATE DATA, 2023), ou seja, as placas também atendem a condição de operação de temperatura.

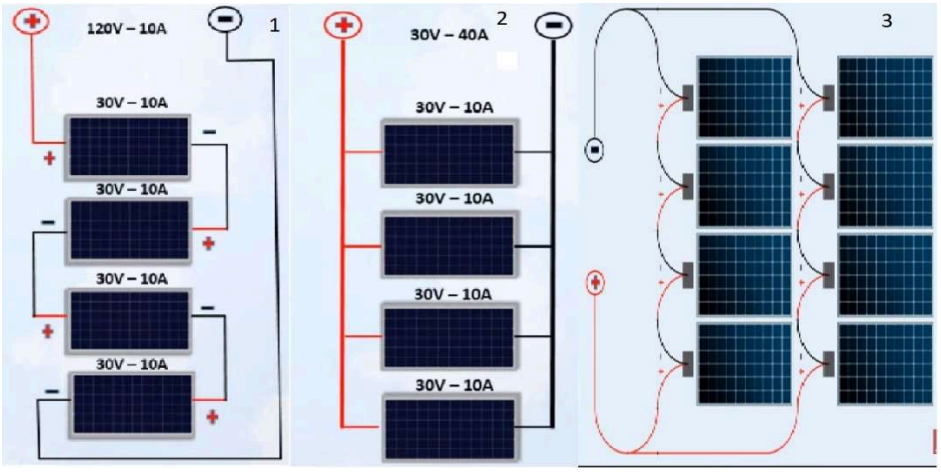
Figura 18- Terminais de uma placa solar



Fonte: DREAMSTIME, 2023

As placas podem ser arranjadas em série (Figura 19,1) ou em paralelo (Figura 19,2), onde no arranjo em série ocorre a soma da tensão elétrica dos módulos, a corrente mantém-se a mesma em todo o circuito e a potência elétrica dos módulos se soma. No arranjo em paralelo a potência também se soma, contudo, a tensão é a mesma em um único módulo e as correntes também se somam (CWSE, 2022).

Figura 19- Exemplos de ligação de placas solares em série (1), paralelo (2) e mista (3)



Fonte: CLUBE MESTRES DA MANUTENÇÃO, 2022

Pode-se ter também a configuração de circuito misto (da Figura 19, 3). Esta configuração é mais comum em grandes empreendimentos solares. Os terminais dessas ligações por sua vez são ligados a *string box* e em seguida ao inversor.

Para instalação será selecionada a opção de ligar em série porque possibilita um reforço na proteção que será colocada (fusíveis ou disjuntores na *string box*) pois havendo a possibilidade de uma placa entrar em curto o fluxo de corrente é interrompido impedindo que ocorra um dano do circuito como um todo, além do reforço propiciado pelos dispositivos de proteção, diminuindo os danos, impedindo que haja sobre dimensionamento na instalação e barateando possíveis manutenções futuras. Outro fator, para a escolha da ligação é a questão referente a segurança, pois se tratando de choques elétricos uma maior corrente propicia maior letalidade do que uma maior tensão (LUGAR CERTO, 2012). Havendo uma possível fuga de corrente os riscos são menores, no entanto, é claro que a instalação contará com métodos e dispositivos de proteção para tal finalidade também.

Os inversores juntamente com as placas, os conectores e os componentes presentes na *string box* correspondem ao lado CC (Corrente Contínua) da instalação. Para dimensiona-los adotam-se os seguintes critérios: para o cabeamento a corrente tem que ser igual a 1,25. Isc, a tensão máxima deve ser 1500 V e obrigatório o uso de Dispositivo de proteção contra surto (DPS) (RAIMUNDO, 2020).

Como foi definido que a instalação está em série e tem-se 4 módulos o valor máximo de V_{OC} será de 4. (*49*,82 +0,03.49,82) ≈205,26 V e o valor máximo para a corrente de curto circuito será de 1,25. (11,20+0,03.11,20) ≈14,42 A. De acordo com a NBR 5410 o valor mínimo de bitola a ser utilizado para circuitos de força independente de ser CC ou CA é de 2,5 mm^2.

O local onde será instalado as placas possui aproximadamente uma altura de 3,00 m e fica acima do quarto de hóspedes que é um ambiente da casa quase não frequentado, em caso de infiltração ou qualquer outra anomalia, permite a realização de um reparo na alvenaria sem incomodar os demais moradores fixos da casa. O local onde a *string box* ficará juntamente com o inversor será muito próximo das placas (Figura 20).

Figura 20-Locais de instalação das placas solares, inversor e *string box*

Fonte: Autoria própria, 2022

A tabela presente na Figura 21 leva em consideração a condição de que os condutores tenham temperatura ambiente de 50 °C e a temperatura no condutor de regime permanente de 90 °C, é uma condição que casa perfeitamente com a condição de operação das placas (temperatura máxima entre 80°C e 85°C) e com a temperatura ambiente presente em Mossoró (27,8 °C). Os módulos de instalação 1,2,3 e 4 são:

- 1- Dois cabos unipolares encostados uma ao outro, na horizontal
- 2-Dois cabos encostados um ao outro na vertical

- 3-Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, 0,75 x diâmetro externo, na horizontal.
- 4-Dois cabos unipolares espaçados de, pelo menos, um diâmetro externo, na vertical

Figura 21-Capacidade de condução para cabos solares

Seção	Instalação ao Ar Livre Protegida do Sol				Instalação ao Ar Livre Exposta ao Sol			
	Modo de Instalação:				Modo de Instalação:			
mm²	1	2	3	4	1	2	3	4
1,5	21	20	23	20	16	16	20	16
2,5	28	27	32	28	22	21	27	21
4	37	36	42	37	28	27	35	28
6	47	46	53	47	36	35	44	36
10	65	64	74	66	49	48	61	50
16	86	86	98	88	63	63	80	67
25	114	115	130	118	82	83	105	88
35	142	143	162	148	100	102	129	109
50	179	181	204	188	123	127	160	137
70	223	227	255	236	151	156	198	171
95	268	273	307	285	178	186	236	205
120	315	321	360	336	205	216	274	239
150	363	371	414	389	232	245	313	274
185	414	424	472	445	259	275	352	310
240	497	508	565	535	303	324	418	370
300	574	588	654	620	344	369	479	425
400	691	708	786	749	402	433	568	506

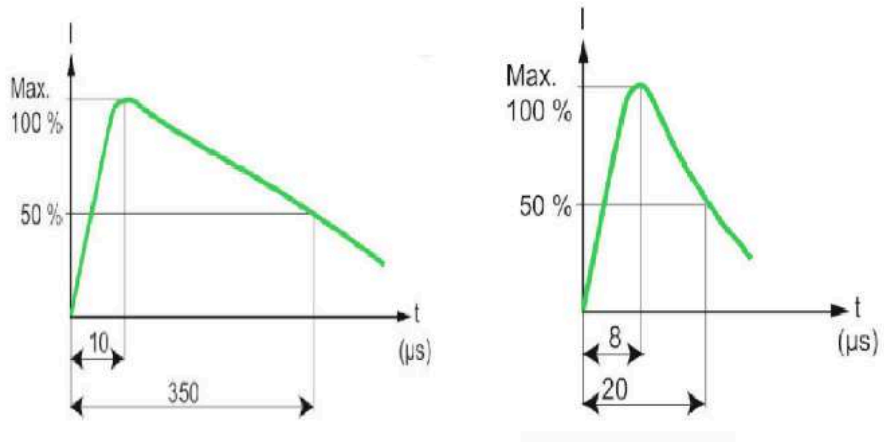
Fonte: MORENO, 2019

A condição para a secção transversal selecionada de 2,5 mm^2 é de que a instalação seja ao ar livre exposta ao sol, os valores de corrente independente do modo de instalação a ser escolhido estão condizentes com a máxima corrente de operação das placas (14,42 A).

Para se dimensionar o DPS é necessário saber a tensão máxima de operação (V_{oc}=205,26 V) classe e corrente de ruptura (ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, 2023). A principal finalidade do DPS é proteger a instalação elétrica de surtos oriundos de descargas atmosféricas, por esta razão eles são classificados em classe 1,2 e 3. A classe 1 corresponde aos DPS´s 10/350 , onde o número 10 refere-se aos 10 microssegundos do tempo de subida da curva e 350 corresponde a quantidade de microssegundos em

que a corrente leva para atingir 50 % da intensidade de pico inicial (Figura 22), este padrão é presente nas instalações que ficam próximas a locais de incidência de raios , por isso , DPS´s de classe 1 são comuns em instalações em que existe um SPDA(Sistema de Proteção contra descargas Atmosféricas) instalado. Já a classe 2 corresponde aos DPS´s 8/20, ou seja, 8 microssegundos de subida e 20 microssegundos de descida (Figura 22) que é um padrão mais comum em instalações mais distantes de pontos de foco de raios, por esta razão o tipo 2 é mais comum em instalações que não tem SPDA instalado. O tipo 3 é para curvas do padrão 1,2 /50 que são equipamentos com maior sensibilidade ou equipamentos terminais onde o usuário corre o risco de maior choque elétrico.

Figura 22-Curvas DPS



Fonte: CANAL SOLAR, 2019

Como a instalação não tem SPDA instalado, o DPS a ser instalado será o do tipo 2, com uma tensão de operação de 1040V e uma corrente de operação de 40 kA (Figura 23). A tensão de operação tem que ser maior que a tensão Voc das placas, além do DPS a *string box* deve contar com um disjuntor dimensionado e deve ser ligado após DPS, seu dimensionamento deve levar em consideração a corrente I_{sc} e a tensão Voc.

Figura 23- DPS Escolhido

Fonte: CLAMPER, 2023

O disjuntor CC selecionado possui uma corrente de operação de 16 A e pode ser utilizado para tensões de operação de até 500 V, portanto, atende os pré-requisitos da instalação (Figura 24). De modo a otimizar a proteção e também obter uma proteção com um valor mais próximo da corrente I_{sc}=14,42 A será selecionado também dois fusíveis (Figura 24) um para cada polaridade, cuja a corrente de operação de ambos é 15 A que ficarão após o DPS e antes do disjuntor CC. Com isso, dimensiona-se os componentes da *string box CC*.

Figura 24-Fusível e Disjuntor CC

Fonte: LIVRE, 2023

Após o dimensionamento dos componentes da *string box,* faz-se o dimensionamento do inversor. Para dimensiona-lo é necessário saber a potência máxima da instalação (2,2 kW), a máxima tensão do lado de corrente CC (205,26 V), a corrente de curto circuito do lado CC e também a corrente nominal de trabalho (I_{sc}= 14,42 A e I_{mp}=13,06A). A tensão de saída do lado de corrente CA (tensão monofásica de 220 V), a frequência da rede CA (60 Hz) e a cor-

rente da rede CA (20 A, esta informação pode ser facilmente descoberta, olhando o disjuntor geral da residência onde será instalada a energia solar).

As especificações do inversor escolhido estão presentes na Tabela 8 e o Inversor em questão encontra-se na Figura 25.

Tabela 8-Especificações do Inversor selecionado

Especificações	**Detalhamento**
Potência Nominal	4,6 kW
Tipo de conexão	*On grid* (com conexão direta a rede, sem banco de baterias, será a configuração da instalação)
Tensão máxima CC (Entrada)	550V
Potência Máxima (Entrada)	6440 W
Corrente Máxima (Entrada)	13,5 A
Corrente de Curto Circuito	16,9 A
Tensão Monofásica de saída (CA)	220 V e 240 V
Frequência	60 Hz
Corrente de Saída (CA)	20,9 A

Fonte: INTELBRAS, 2023

Figura 25-Inversor escolhido

Fonte: INTELBRAS, 2023

Existe um modelo de 2,5 kW da mesma marca, no entanto, a corrente de trabalho é de 11,3 A do lado CA o que seria inviável para a instalação. Outro inversor com potência de 3,6 kW tem uma corrente de saída do lado CA de 16 A, que seria inviável também. Outro fator que é levado em consideração no dimensionamento é o número de *strings* que pode ser entendido como a quantidade de cabos que chegam até a entrada do inversor. Este fator pode ser determinado pela Equação 6 e 7. Onde na equação 6 determina-se a quantidade máxima de módulos por *string* e na equação 7 o número de *strings* por módulos

$$N_{ms}=(\frac{Ti_{Max\ cc}}{Tm_{Max\ cc}}) \tag{6}$$

Em que:

- N_{ms} →Número máximo de módulos por string
- $Ti_{Max\ cc}$→ Tensão elétrica máxima CC que o inversor suporta
- $Tm_{Max\ cc}$→ Tensão elétrica máxima CC de um módulo solar

$$N_{sm}=(\frac{N_{sgf}}{N_{ms}}) \tag{7}$$

Em que:

- N_{sm} →Número de string de módulos
- N_{sgf}→ Número de módulos do sistema gerador fotovoltaico
- N_{ms} →Número máximo de módulos por string

Com base nisso, tem-se:

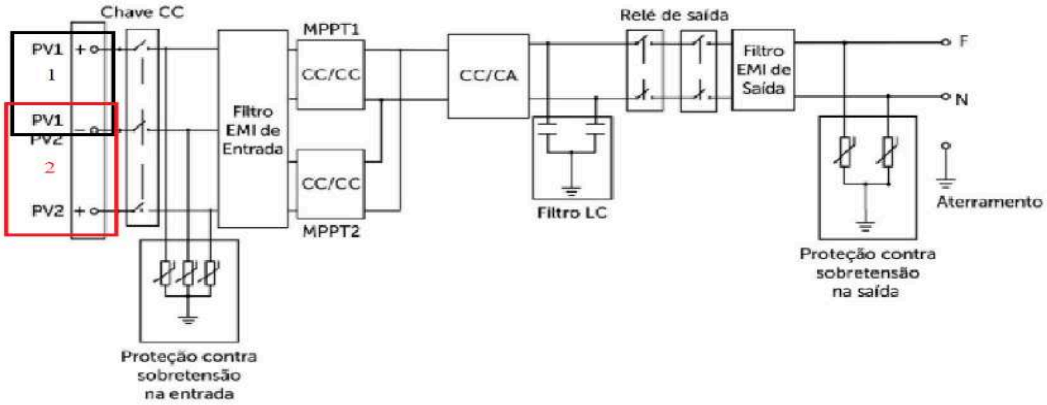
$$N_{ms}= (\frac{Ti_{Max\ cc}}{Tm_{Max\ cc}})=(\frac{550}{51,3146})\approx 10$$

Neste cálculo é interessante que se faça o arredondamento pra menos. Ou seja, a instalação suporta no máximo 10 módulos fotovoltaicos por *string*. Agora aplicando a Equação 7:

$$N_{sm}= (\frac{N_{sgf}}{N_{ms}})= (\frac{4}{10})=0,4$$

Diferente do cálculo da Equação 6 arredonda-se para mais, isto é, pelo menos 1 *string* para ligar todos os módulos da instalação. Os dois cálculos determinaram que para esta instalação é necessário um *string* para realiza-la sendo que o número máximo de módulos que posso ligar neste *string* são 10, mas será necessário somente 4, e estarão ligados em série. O inversor escolhido possui capacidade para 2 *strings* onde na figura 26 está especificado como estes ficam dispostos (1 e 2), onde demonstra-se o esquema elétrico do inversor.

Figura 26-Esquema elétrico do inversor com as *strings* (1 e 2)



Fonte: INTELBRAS, 2023

Estes dois cálculos também ajudam a definir a quantidade de entradas e saídas da *string box,* que tem de ser maior ou igual ao número de *strings* (no caso será adotada 2 entradas e saídas) e também se recomenda que para residências seja adotado 30 m por *string* (CWSE, 2022). Do lado CA também se faz necessário a instalação de um DPS (Figura 27) que também será do tipo 2 e ficara na fase, como bem demonstra a Figura 26 a saída CA tem fase, neutro e terra.

Figura 27-DPS CA escolhido

Fonte: UNITEK, 2023

É estipulado que em uma instalação fotovoltaica a parte CC tem que ser separada da parte CA, por isso, terá uma *string box* da parte CC que ficara entre as placas e o inversor. E uma segunda *string box* para a parte CA que ficará entre o inversor e o disjuntor geral da casa. Na *string box* CC ficara o DPS CC, os fusíveis e o disjuntor CC e na *string box* CA o DPS CA e o disjuntor geral da residência (este último pode ser deixado na caixa do disjuntor geral ou o DPS CA ficar lá e a caixa do disjuntor geral, juntamente com o disjuntor geral, tornando-a a segunda *string box*).

O aterramento da parte CC terá um cabo com a mesma bitola dos cabos CA. O clipe de equipotencialização presente nos fixadores intermediários (Figura 17) consiste em um elemento que faz com que todas as placas fiquem equipotencializadas, isto é, permite que todas as placas fiquem conectadas para uma finalidade de aterramento. O aterramento pode até ser feito sem este recurso, no entanto, se gastará mais material para fazê-lo e o procedimento de aterramento é puramente artesanal, passível de erro humano. Com a equipotencialização o número de conexões a serem feitas é menor, caso contrário, recomenda-se que todas as conexões das placas sejam conectadas ao aterramento demandando muito mais tempo, mais material e também maior possibilidade de erro.

A equipotencialização permite que os trilhos também estejam conectados para finalidade de aterramento. Por isso, os pinos de aterramento (Figura 17) podem ser dispostos no final de cada trilho, mais também é interessante estes fiquem ainda debaixo das placas de modo a protegê-los contra a chuva e o lado final seja o mais próximo possível dos de-

mais componentes da instalação. A distância entre a conexão de aterramento das placas e o aterramento da casa é de 18,709 m; este valor corresponderá a metragem mínima necessária de fio para ser feita o aterramento das placas.

Além do aterramento das placas tem-se também o aterramento do inversor que será instalado em um local que ficara a uma distância do aterramento da casa de 16,594 m; sendo assim a metragem mínima para se aterrar a instalação é de aproximadamente 36 m. A distância do inversor até o aterramento também leva em consideração os condutores fase e neutro, para ambos, a metragem mínima é aproximadamente 17 m.

Para se dimensionar a bitola dos condutores fase neutro e terra do lado CA será levado em consideração a corrente de saída CA do inversor (20,9 A). Isto pode ser feito através dos critérios estabelecidos na NBR-5410 (Figura 28).

Figura 28-Críterios de Seleção para condutores CA

Seções nominais mm^2	Métodos de referência											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67

Adaptado de: FOTUS- DISTRIBUIDORA SOLAR, 2022

De acordo com a Tabela presente na Figura 28 para finalidade de instalação de energia solar se escolhe normalmente o padrão B1(Terceira coluna na linha de Métodos de referência) que leva em consideração o fato de os condutores estarem inseridos em eletrodutos apa-

rentes e espaçados na parede ou sobre a mesma. No caso da instalação também se leva em consideração o fato de se estar diretamente enterrado (padrão D, última coluna na linha Métodos de referência) pois uma parte do percurso até o aterramento da casa, a tubulação se encontra na forma subterrânea. O cabo com bitola de 2,5 mm^2 (coluna Seções nominais em mm^2) atende esses padrões pois o mesmo possui uma corrente mínima de atuação de 21 A e uma corrente máxima de atuação de 29 A quando sujeitos a estes padrões (pode-se observar isto ao ver os valores referentes a linha de 2,5 mm^2 na Tabela cruzando-a com as colunas B1 e D) pois atende a condição de corrente de saída de 20,9 A do inversor. Vale ressaltar que este valor de bitola será para a fase, neutro e terra da parte CA.

Para dimensionamento de eletrodutos e o disjuntor geral da residência leva-se em consideração a quantidade de circuitos dentro dos eletrodutos (1, embora tenha-se o aterramento o mesmo é considerado um circuito comum a todos os outros circuitos). O dimensionamento do disjuntor pode ser feito através da Equação 8.

$$I_C = C_n . F_T . F_a \qquad (8)$$

Em que:

- I_C →Corrente corrigida
- C_n→Capacidade nominal
- F_T →Fator de Temperatura
- F_a →Fator de Agrupamento

A corrente corrigida corresponde a corrente da instalação com base nos padrões , a capacidade nominal corresponde a corrente nominal que passará pelo condutor (o valor mais aproximado de 20,9 A é 21 A) ,o fator de temperatura corresponde a temperatura no qual a instalação é exposta , como já foi afirmado anteriormente a temperatura média de Mossoró é 27,8°C, e como o material escolhido será o PVC (para o eletroduto) e também uma parte da instalação será subterrânea será adotado o valor para 35 °C (F_T= 0,94) , e como só tem um circuito o fator de agrupamento será F_a= 1.Os valores de fator de temperatura e fator de agrupamento encontram-se padronizados e determinados pela NBR 5410.Colocando todos estes valores na Equação 8 tem-se:

$$I_C = 21.0,94.1 = 19,74A$$

O valor do disjuntor geral (20 A) casa perfeitamente com a corrente corrigida, contudo, a corrente de saída do inversor é um pouco maior que a corrente do disjuntor geral (20,9 A), isto na prática, pode provocar disparos indesejáveis do disjuntor geral durante o funcionamento da instalação fotovoltaica. Sendo assim será necessário a substituição do disjuntor geral por um com maior amperagem, o valor de amperagem maior que 20 A para um disjuntor CA melhor disponível no mercado é de 25 A. Para o dimensionamento dos eletrodutos os seguintes padrões são seguidos: determinar a seção que irão passar no interior do eletroduto, determinar a área total de cada condutor (Figura 29, Tabela A), efetuar o somatório destas áreas, uma vez obtendo-se este valor determinar o diâmetro do eletroduto (Figura 29, Tabela B).

Figura 29-Critérios de seleção para eletrodutos

tabela A

seção nominal (mm^2)	isolação PVC	
	diâmetro externo (mm)	área total (mm^2)
FIOS		
1,5	2,5	**6,2**
2,5	3,4	**9,1**
4	3,9	**11,9**
6	4,4	**15,2**
10	5,6	**24,6**
CABOS		
1,5	3,0	**7,1**
2,5	3,7	**10,7**
4	4,2	**13,8**
6	4,8	**18,1**
10	5,9	**27,3**
16	6,9	**37,4**
25	8,5	**56,7**
35	9,5	**71,0**
50	11,5	**104**
70	13,5	**133**
95	15,0	**177**
120	16,5	**214**
150	18,5	**269**
185	20,5	**330**
240	23,5	**434**

tabela B - eletroduto de PVC rígido

tamanho nominal diâmetro externo (mm)	ocupação máxima 40% da área (mm^2)
16	**52**
20	**85**
25	**143**
32	**238**
40	**410**
50	**539**
60	**876**
75	**1415**
85	**1990**

tabela C - eletroduto de aço galvanizado

tamanho nominal diâmetro externo (mm)	ocupação máxima 40% da área (mm^2)
16	**53**
20	**90**
25	**152**
31	**246**
41	**430**
47	**567**
59	**932**
75	**1525**
88	**2147**

FONTE: FOX LUX, 2023

O número de condutores que irá passar do lado CA é 3, como os condutores tem diâmetro de 2,5 mm^2, segundo a Tabela A o valor mais próximo da área total é de 9,1 mm^2 com base nessas informações tem-se:

$$3.\ 9{,}1=27{,}3\ mm^2$$

O valor que mais se aproxima da condição calculada é 16 mm com base na Tabela B também presente na Figura 29. Este mesmo critério pode ser adotado para a parte CC como a seção transversal dos condutores da parte CC também é de 2,5 mm^2 e o número de condutores é 3 também, então será adotado o eletroduto de 16 mm de diâmetro na parte CC e CA. A metragem de eletroduto necessária é de 4,23 m que é o comprimento da parede onde ficarão dispostos os demais equipamentos além das placas. Na segunda *string box* terá um barramento de aterramento (Figura 30,1) cuja finalidade é receber todo o aterramento da instalação para que somente um condutor de terra vá até o aterramento da casa.

Um barramento para uma corrente de 35 A deve ter a dimensão de 3/8" (0,9525 cm) por 1/16" (0,15875 cm, ELÉTRICO *et al.*, 2023). Como a corrente do lado CA é de 20,9 A nos dá a possibilidade de selecionar um barramento pequeno .Este barramento , juntamente com os fios(da parte CA) verde, vermelho, azul, os eletrodutos, as buchas e parafusos, os fixadores dos eletrodutos (Figura 30,2), os olhais para a confecção do aterramento (Figura 30,3) , os elementos de conexão dos eletrodutos as caixas (prensa cabo ;Figura 30,4) e as caixas necessárias para as *string box* tiveram seus preços com base na loja Parque Elétrico em Mossoró-RN. Os demais componentes tiveram seus preços com base em compra on-*line* em *sites* especializados com o frete incluso. Além destes itens citados também tem os conectores MC4 (Figura 5,5). Além destes conectores se faz necessário a aquisição de um alicate de crimpar MC4(Figura 30, 5). Todos os itens necessários para a instalação encontram-se especificados na Tabela 9. Embora o diâmetro do eletroduto selecionado tenha sido 16 mm, o valor que melhor se aproxima deste valor é 20 mm, disponível no mercado.

Figura 30- Componentes adicionais de uma instalação fotovoltaica

Fonte: MERCADO LIVRE, 2023

Tabela 9-Materiais necessários para se fazer a instalação fotovoltaica

Material	Quantidade	Preço (R$)	Preço Total (R$)
Módulos (550 W)	4	1200	4800
Suportes Fixadores	6	70,17	421,03
Barra trilho (2,40 m)	4	219,32	877,28
Pinos intermediários	6	30,98	185,89
Pinos de aterramento	2	17,09	34,18
Pinos finais	4	27,57	110,29
DPS CC 40 Ka, Tipo 2	1	206,32	206,32
Fusível 15 A CC	2	74,76	149,52
Disjuntor CC 16A	1	123,1	123,1
Inversor Intel Bras 4,6 kW	1	3500	3500
Cabos solares (positivo e negativo)	30 m	386,34	386,34
DPS CA 40 Ka, Tipo 2	1	162,92	162,92
Eletroduto ø=20 mm	4,23 m	79,30	79,30
Barramento de cobre pequeno	1	106,78	106,78
Fio bitola 2,5 mm^2 verde	36 m	83,88	83,88
Fio bitola 2,5 mm^2 Vermelho	17 m	39,61	39,61
Fio bitola 2,5 mm^2 Azul	17 m	39,61	39,61
Buchas	12	0,19	2,28
Parafusos	12	0,20	2,40
Prensa cabo	8	5,58	44,64
Olhais	10	0,60	6

Caixas (*string box*)	2	47,10	94,20
Conectores MC4	30	4,33	129,99
Alicate para crimpar Mc4	1	109	109
Disjuntor 25 A	1	1	11,00

Fonte: Autoria Própria

Os valores especificados na Tabela 9 não levam em consideração nenhum desconto e subentende-se que todos os itens sejam adquiridos a vista. Os valores referentes aos suportes fixadores já levam em consideração os parafusos para fixa-los. O somatório do total tem como resultado o valor de 11705,56 R$.

Além dos materiais para a realização da instalação é necessária a confecção de um projeto elétrico , que será entregue a concessionaria, está por sua vez ,mandará uma equipe para verificar a instalação do imóvel a ser contemplado com energia solar e depois havendo esta aprovação (será verificado se a instalação está dentro dos padrões estabelecidos de acordo com a NBR 5410) será feita a troca do medidor com tecnologia adaptada para trabalhar com um sistema fotovoltaico, só depois deste procedimento o proprietário dará início a implementação da instalação do sistema fotovoltaico. Todo este procedimento não é passível de cobrança (NEONERGIA COSERN, 2023).

Embora um projeto fotovoltaico não seja passível de cobrança perante a concessionária o mesmo necessita de uma ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) que se trata de um documento que para efeitos legais, os responsáveis técnicos pelo desenvolvimento de atividade técnica no âmbito das profissões exigidas Confea/CREA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia e Conselho Regional de Engenharia e Agronomia, CONFEA, 2023)para solicitar necessita pagar uma taxa (normalmente 88 R$) e também para a realização da instalação o técnico e/ou engenheiro tem que ter em mão também o TRT (Termo de responsabilidade técnica) que é um documento fornecido também mediante taxa , normalmente 55 R$. Segundo o Confea/CREA os profissionais habilitados para fazer e/ou assinar um projeto fotovoltaico são o engenheiro eletricista (acima de 800 kVA) e/ou o técnico em eletrotécnica (até 800 kVA, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS, 1985).

Para a solicitação da ART e da TRT é necessário que o profissional que irá fazer e/ou assinar o projeto esteja com seu registro do CREA ativo e além disso para a aquisição de alguns equipamentos necessários a instalação (normalmente as placas e o inversor) tem seu mercado restrito a pessoas que possuam cadastro de pessoa jurídica. Analisando essas especificações profissionais e burocráticas percebe-se então, que ter a iniciativa de fazer um projeto fotovoltaico e executá-lo através de meios próprios é algo muito dispendioso e inviável.

Com base, nesse fato foi feita uma pesquisa para selecionar uma empresa para fazer a instalação da energia solar no imóvel, ao invés da opção de se fazer por conta própria. A empresa selecionada é a Guarani Solar e o valor do custo da instalação é 11000 R$, os materiais utilizados são os mesmos e a burocracia referente ao projeto é a empresa que toma a frente e a empresa também trabalha com mão de obra especializada. O único custo que o proprietário do imóvel possa ter é referente a alvenaria durante o serviço.

O fato de se contratar uma empresa seja uma alternativa mais barata é porque muitas vezes as empresas que fabricam e/ou vendem equipamentos solares possibilitam alternativas de desconto favoráveis a empresas atuantes no ramo e também com uma grande rotatividade de serviços a empresa atuante da instalação no ramo pode cobrar um preço mais em conta para seus clientes. Muitas dessas empresas que instalam também fornecem o serviço de venda de equipamentos solares, contudo, torna-se muito mais barato adquirir os equipamentos e também o serviço para uma instalação solar. Como esta alternativa para a instalação acaba sendo mais barata, portanto, será a alternativa adotada.

Outro fator que reforça o fato de que contratar uma empresa torna-se uma melhor iniciativa é que cada concessionária possui as suas especificações e exigências para cada componente em um projeto fotovoltaico. Essas especificações vão desde certificações que o equipamento tenha até detalhes técnicos minuciosos (NEO ENERGIA COSERN, 2023). As empresas atuantes no mercado fotovoltaico no Estado do RN têm que seguir tais prerrogativas à risca se quiserem atuar no mercado. Como fim de análise de custo para o plano de manutenção os equipamentos serão mantidos, todavia, se de fato haver a aplicabilidade prática do projeto desta pesquisa faz-se necessário uma análise mais apurada levando em consideração tais critérios.

Com a alternativa escolhida faz-se o cálculo do retorno de investimento (*Payback)* a través da Equação 5:

$$P_b = \frac{V_i}{E_g \ .12.P(kWh)} = \frac{11000}{167.12.0{,}86} \approx 6{,}38 \text{ anos}$$

O cálculo realizado leva em consideração o valor da instalação (V_i=11000 R$), o valor médio de geração de consumo de energia por ano (E_g=167 kWh). Embora o preço do kWh no Rio Grande do Norte seja de 0,60 R$ o valor que as empresas de instalação de energia solar utilizam corresponde à média dos valores cobrados em todos os estados brasileiros ($P(kWh)$ =0,86 R$). É recomendável neste cálculo arredondar para mais o resultado, sendo assim, pode-se dizer que a recuperação total de gastos com a implantação do sistema solar fotovoltaico ocorrerá em aproximadamente em 7 anos. Esse valor pode ser utilizado para a realização do plano de manutenção, contudo, para a elaboração do mesmo será levado em consideração o tempo de 20 anos, que como já fora abordado, corresponde a validade de um sistema fotovoltaico.

4-PLANO DE MANUTENÇÃO

O plano de manutenção será realizado de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10-Materiais e métodos de manutenção para a instalação fotovoltaica

Equipamento	Tipo de Manutenção
Módulos fotovoltaicos	Preditiva/Preventiva
Conectores Elétricos CC	Preventiva
String Box	Preventiva/ Corretiva Planejada
Estrutura de fixação	Preventiva
Inversor fotovoltaico	Preditiva/Preventiva
Quadro geral de baixa tensão	Preditiva/Preventiva

Fonte: SOUZA, 2021

A diferença entre a manutenção corretiva planejada e a não planejada é que a não planejada ocorre quando ocorre a falha imprevista, fazendo-se necessário o reparo rápido mediante uma situação surpresa e a planejada consiste na manutenção realizada perante acompanhamento de desempenho. A preventiva tem como finalidade evitar a falha e a preditiva consiste no acompanhamento constante de um sistema que está passível de manutenção. A manutenção corretiva planejada pode ser entendida como uma ação oriunda de um processo de manutenção preditivo (TROJAN; MARÇAL; BARAN, 2013).

4.1-MANUTENÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A manutenção preventiva de placas solares é feita através do uso de água e esponja com cerdas macias e a preditiva consiste na inspeção visual da mesma. Itens como água, baldes e esponjas são itens comuns a qualquer residência. Para a análise de custo do programa de manutenção será considerado os períodos de chuva da região onde a instalação fotovoltaica foi supostamente realizada e será adotada a hipótese de que os EPI´s e equipamentos necessários para realizar a manutenção (capacetes, talabartes em Y, botas, cordas e etc.) serão emprestados.

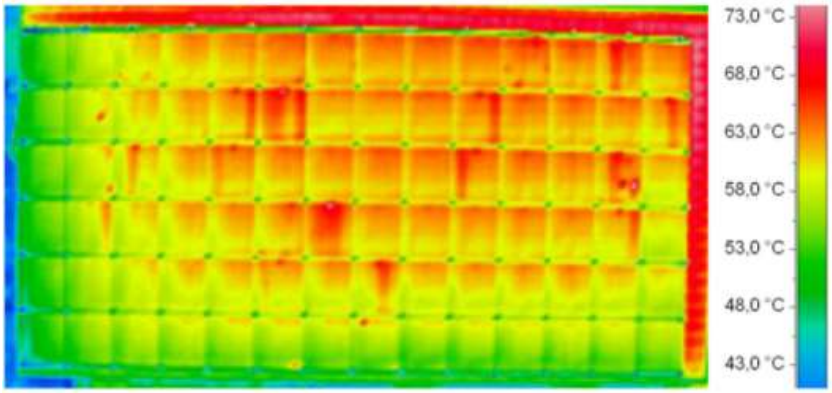
O período chuvoso na cidade de Mossoró dura 7 meses de dezembro a julho, tendo como mês mais chuvoso o mês de abril (SPARK, 2023). Isso significa dizer que em um ano o município tem de agosto a novembro sem chuvas praticamente. Por esta razão o período

correspondente a estes meses será o período onde a limpeza das placas e também os demais procedimentos de manutenção serão realizados. Para a limpeza das placas será considerado o custo da água utilizada, para se calcular a quantidade de água utilizada para tal finalidade será levado em consideração as dimensões das placas 2279mm*1134mm*35mm=90453510 mm^3(90,45351 litros ou 0,09045351 m^3).

A CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte) classifica seus consumidores como residencial popular, residencial, residência social, comercial, industrial e pública (VIRTUAL, 2023). O imóvel em que será feita a instalação se enquadra na classificação de residencial popular cuja o valor até 10 m^3 para cobrança de água é de 32 R$/ m^3, com base nisso pode-se inferir que o valor a ser gasto de água anualmente de água para a limpeza das placas é 32 R$/ m^3* 0,09045351 m^3≈2,90 R$. Para calcular o gasto total deste item levando em consideração a validade do sistema fotovoltaico de 20 anos tem-se 20*2,90=58 R$.

Além da inspeção visual para se ter uma análise mais acurada do que está acontecendo faz-se necessário a realização de uma análise termográfica (Figura 31)

Figura 31- Exemplo de analise termográfica em placa solar



Fonte: SOUZA, 2021.

A analise termográfica é caracterizada como uma manutenção preditiva e tem como objetivo encontrar pontos quentes que possam gerar uma anomalia futura que comprometa o funcionamento das placas solares. Essas anomalias podem ser provocadas por sujidades, sombreamentos, defeitos de fábrica, células danificadas e diferenças de inclinação e orientação azimutal (diferenças de posição entre as placas). Estes fatores criam

diferenças na distribuição na temperatura do módulo. Os cuidados para evitar este tipo de problema além da limpeza das placas é procurar instalá-las de modo que elas fiquem no mesmo nível, em um lugar o mais livre possível de sombreamento. É importante também que durante a instalação se procure meios de impedir o escoamento de água para partes em que a presença de água possa provocar um curto, esta ação vale tanto para as chuvas como para a operação de limpeza das placas.

O critério de anomalia para a análise termográfica será que a temperatura máxima detectada nas placas em nenhum ponto possa exceder a temperatura máxima de operação das placas (85°C). A análise é feita através de um aparelho chamado termo visor (Figura 32) que consiste em uma câmera que emite sinais infravermelhos permitindo assim que a temperatura no qual aparelho direcione as ondas possa ter a sua temperatura visualizada.

Figura 32-Termovisor

Fonte: ALIEXPRESS, 2023

4.2-MANUTENÇÃO DOS CONECTORES

A termografia também se estendera aos conectores (Figura 33) onde utilizará o mesmo critério para as placas no que se restringe a temperatura (temperatura máxima de 85 °C, esta temperatura corresponde a temperatura máxima de operação dos componentes do módulo fotovoltaico, por isso, servirá de base dos demais componentes do circuito). Caso o termo visor acuse uma temperatura acima de 85°C, será feita a verificação da conexão para ver se tem algum agente externo (sujeira nas conexões por exemplo) que esteja causando o aumento de temperatura, se o mesmo padrão persistir, realizar a troca dos conectores, se o padrão persistir realizar troca de cabos, se o padrão ainda persistir fazer uma

análise mais detalhada da instalação como um todo. Para a realização deste processo de manutenção será utilizada uma quantidade de conectores MC4 igual a utilizada na instalação juntamente com o alicate para crimpar e uma quantidade de cabos CC igual a utilizada da instalação.

Figura 33-Sobreaquecimento no conector

Fonte: GRUPO IEP, 2020

4.3-MANUTENÇÕES NAS *STRING BOX*, ESTRUTURAS DE FIXAÇÃO E QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO

As estruturas de fixação assim como os demais componentes da instalação serão também verificadas com a mesma periocidade da limpeza das placas e da análise termográfica das mesmas e dos conectores MC4. Os componentes de fixação são passíveis de substituição, desse modo, será necessária uma reserva dos componentes caso haja necessidade de substituição, os componentes em questão são os suportes fixadores, pinos intermediários, pinos de aterramento, pinos finais, eletroduto ø=20 mm, buchas, prensa cabo, olhais, caixas para as *strings box*, parafusos e barras trilhos.

É sabido que a *string box do* lado CC tem um DPS CC 40 Ka Tipo 2, dois fusíveis de 15 A e um disjuntor CC de 16 A. Os DPS´s tem seu período de validade baseado na quantidade de surtos no qual são submetidos , por isso, neles existe um elemento chamado janela de visualização de estado (Figura 34) que enquanto estiver apto para uso apresenta a cor verde a partir do momento que apresenta a cor vermelha é necessário substituir, entretanto , a substituição corresponde a um componente chamado

varistor que é o elemento atuante do DPS e não o DPS como um todo , os varistores são um para o conector positivo , outro para o negativo e outro para o terra no caso de um DPS CC.

Figura 34-DPS e seus varistores

Fonte: CANAL SOLAR, 2020.

Os preços destes varistores variam entre 35,90 R$ e 53,90 R$ cada considerando o frete, para a análise do plano de manutenção será considerado o maior valor. Como as questões referentes a incidência de surtos de uma dada região depende de uma série de fatores fica difícil estabelecer uma métrica de tempo para troca de varistores o ideal é que toda vez que for feita a limpeza das placas , juntamente com a analise termográfica (que também engloba a parte CA) da instalação e também verificação dos elementos de fixação , verificar os varistores também para ver se não estão passiveis de troca.

Os fusíveis correspondem a um elemento que se recomenda a realização de manutenção dos mesmos quando eles atuam, ou seja, se faz a necessária à sua troca, isto faz com que a sua substituição também não se tenha uma ideia do tempo certo para tal.

Um disjuntor independente de ser CC ou CA tem sua vida útil de até 25 anos em condições normais de operação (JORNAL PEQUENO, 2020). Como o plano de manutenção é realizado com base em um tempo de 20 anos, o ideal é verificar quando for feita a limpeza de placas e os demais procedimentos de manutenção verificar o disjuntor. Isto pode ser realizado através de termografia também, se a temperatura do mesmo estiver alta além dos padrões da instalação e for verificada que a causa não são as conexões do disjuntor CC o mesmo é passível de troca.

Na string *box* do lado CA o mesmo critério para o disjuntor geral da casa que é um disjuntor CA será utilizado para o disjuntor CC e também o barramento de cobre, ou seja, se estes componentes apresentarem temperaturas além da temperatura de 85 °C serão passíveis de substituição. No caso da instalação o quadro geral se resumirá a o disjuntor geral pelo fato de que é pequeno demais para um barramento de cobre. O DPS CA possui uma estrutura similar ao DPS CC, contudo os varistores se resumem somente ao condutor de fase e possuem a mesma faixa de preço dos tipos CC (35,90 R$ e 53,90 R$), assim, pelo sistema ser do tipo monofásico quando o indicador do varistor estiver vermelho praticamente será feita a troca do DPS(o varistor em questão compreende somente a fase).Os disjuntores , DPS´s e barramento são componentes em que o armazenamento dos mesmos requer condições especificas sendo assim quando houver a necessidade de troca realizar a compra imediata dos mesmos.

Caso haja necessidade de troca dos cabos CA será reservada uma quantidade de cabos com as mesmas quantidades especificadas na Tabela 9.

4.4-MANUTENÇÃO DO INVERSOR

O inversor utilizado possui garantia de 10 anos como o plano de manutenção ele se limita há 20 anos significa que durante o período de operação o mesmo pode ser substituído uma vez. Vale ressaltar que para se adquirir um inversor se faz necessário ter um cadastro de pessoa jurídica, no entanto, isto pode ser facilmente resolvido utilizando-se um cadastro de alguém ligado ao proprietário da residência e depois o ressarcindo. Esta mesma estratégia pode ser utilizada caso se deseje fazer o projeto e implementação do sistema fotovoltaico por conta própria como analisado anteriormente, contudo, mesmo se valendo desta estratégia o valor total de custo da instalação ainda é mais barato se contratar uma empresa pra fazer. A manutenção preditiva pode ser feita através de um componente chamado *pocket wifi*. Consiste em um componente que dá a possibilidade de monitoramento do inversor mediante a um aplicativo de celular fornecido pelo fabricante.

A própria empresa fabricante oferece um tutorial de como instalar o aplicativo e as informações apresentadas nele permitem não só fazer um monitoramento do inversor, mas também, da instalação como um todo.

4.5-CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO E RECÁLCULO DO *PAYBACK*

Tabela 11-Cronograma de Manutenção

Equipamento	**Componentes**	**Quantidade**	**Tipo de manutenção**	**Ações**	**Materiais necessários**	**Quantidade**	**Custo**
Módulos	Placas	4	Preditiva/Preventiva	Limpeza	Água, esponjas com cerdas finas.	0,09045351 m^3	58 R$(Levando em consideração os 20 anos de validade da instalação fotovoltaica).
Conectores	Conectores MC4	30	Preventiva	Termografia e substituição (Temperaturas acima de 85 °C)	Termógrafo e conectores reserva e alicate de crimpar MC4	1(Termógrafo), 30 (Conectores MC4) e 1 (alicate de crimpar MC4)	398,86 R$(Termógrafo), 129,99 R$(Conectores) e 109 R$(alicate de crimpar MC4)
String Box	DPS CC 40 Ka Tipo 2, dois fusíveis de 15 A e um disjun-	2 DPS´s (1 CC outro CA), 2 fusíveis CC e um	Preventiva/ Corretiva Planejada	Verificação dos varistores de	Termógrafo	1(Termógrafo, os demais componentes só serão contabilizados realmente na	398,86 R$(Termógrafo)

tor CC de 16 A (Parte CC). Barramento de cobre e DPS CA (Parte CA)	barramento de cobre que será utilizado na parte CA		ambos os DPS´s através da janela de visualização de estado. Troca de fusíveis caso haja atuação. Troca do barramento de Cobre e/ou do disjuntor em caso de temperatura	necessidade de troca-los, pois o armazenamento dos mesmos requer condições específicas)

				interna acima de 85 °C.			
Estrutura de fixação	Suportes Fixadores, Pinos intermediários, Pinos de aterramento, Pinos finais, Eletroduto ø=20 mm, Buchas, Prensa cabo, Olhais, Caixas para as *strings box*, parafusos e barras trilhos.	6(Suportes Fixadores), 2(Pinos intermediários), 2(Pinos de aterramento), 4(Pinos finais), 4,23 m (Eletroduto ø=20 mm), 12(Buchas), 8(Prensa cabo), 10(Olhais), 2(Caixas para as *strings box)*,12 (parafusos) e 4	Preventiva	Verificação do estado das estruturas de fixação	Suportes Fixadores, Pinos intermediários, Pinos de aterramento, Pinos finais, Eletroduto ø=20 mm, Buchas, Prensa cabo, Olhais, Caixas para as *strings box*, parafusos e barras trilhos.	6(Suportes Fixadores), 2(Pinos intermediários), 2(Pinos de aterramento), 4(Pinos finais), 4,23 m (Eletroduto ø=20 mm), 12(Buchas), 8(Prensa cabo), 10(Olhais), 2(Caixas para as *strings box)*,12 (parafusos) e 4 (barras trilhos).	421,03 R$(Suportes Fixadores);185,89R$(Pinos intermediários);34,18R$(Pinos de aterramento);110,29R$(Pinos finais);79,30R$(Eletroduto ø=20 mm); 2,28 R$(Buchas); 44,64 R$(Prensa cabo); 6 R$ (Olhais); 94,20 R$(Caixas para as *strings box)*; 2,40 R$(parafusos) e 877,28 R$ (barras trilhos)

		(barras trilhos).					
Inversor fotovoltaico	Inversor fotovoltaico	1	Preditiva/Preventiva	Monitoramento por meio de *pocket wifi* e aplicativo de celular e troca com o fim do prazo de validade.	*pocket wifi* e celular	1 celular e 1 *pocket wifi*	O *pocket wifi* já vem junto com inversor e o celular é algo comum a qualquer pessoa hoje em dia. Como o tempo de validade da instalação fotovoltaica é de 20 anos e os inversores 10 anos, significa que será necessário fazer uma troca (3500 R$).
Quadro geral de baixa tensão	Disjuntor CA de 25 A	1	Preditiva/Preventiva	Termografia e substituição (Temperaturas	Termógrafo	1(Termógrafo)	398,86 R$(Termógrafo)

acima de 85 °C)

Fonte: Autoria Própria

Para o recalculo do *Payback* será levado em consideração o valor da instalação (V_i) mais os componentes necessários para a manutenção(gerando um novo valor de V_i o V_{i2}) .Os EPI´s e ferramental específico para a realização da manutenção subtende-se que se tenha ou consiga emprestado , será desconsiderado também componentes cujo a troca apresenta um tempo indeterminado e possa ser realizada em situações extraordinárias de manutenção corretiva (Disjuntores, varistores , DPS´s e barramento de cobre).Alguns dos valores de custo presente na Tabela 11 foram baseados na Tabela 9 . Fazendo o somatório do valor da instalação com os componentes da Tabela 11 tem-se V_{i2}= 17053,34R$; substituindo na Equação 5 tem-se:

$$P_b = \frac{V_{i2}}{E_g\ .12.P(kWh)} = \frac{17053,34}{167.12.0,86} \approx 9,89$$

Como o valor calculado sempre se arredonda para mais então pode-se dizer que com o plano de manutenção consegue-se uma recuperação da instalação mais manutenção em 10 anos.

5-CONCLUSÃO

O cálculo da média realizado por meio da Tabela 6 explicita não só a geração média (G_m) mais também indica o tipo de consumidor que o proprietário do imóvel é. Com o resultado sendo igual a 166,5 kWh por ano pode-se classificar com base na Tabela 3 como um consumidor do tipo B1-Residencial de Baixa Renda (101 a 220 kWh -10 % de desconto). Com base, nesses dados, pode-se dizer que os membros da residência se encaixam como consumidores de baixa renda.

Embora as empresas que trabalham com instalação de energia solar, forneça de pagamento a prazo, torna-se mais barato o pagamento a vista, por causa do acréscimo de juros. Isso faz com que a implementação de um sistema fotovoltaico para consumidores de baixa renda seja inviável, tal fato, pode ser revertido com uma reformulação dos aspectos burocráticos relacionados, porém, além da questão ambiental o principal objetivo das concessionárias juntamente com o governo na implementação de meios alternativos de energia é desafogar a matriz energética do país. Esta ação torna-se mais bem sucedida em consumidores com maior patamar pertencentes ao grupo A.

Com a aprovação do projeto de lei de taxação do sol (PL 14300) a determinação dos custos de projeto não só levará em consideração o valor da instalação propriamente dita e a manutenção, esta lei permiti uma taxação em cima dos créditos. Para se ter uma ideia de quanto uma instalação fotovoltaica possa gerar de créditos em um determinado espaço de tempo é preciso que a mesma esteja ativa, contudo, a estimativa de custo é calculada antes da ativação, o que faz com que, deva ser feita a análise do possível padrão de consumo que o consumidor irá ter uma vez a instalação estando ativa. Tal analise para ser mais apurada se faz necessário o uso de alternativas como simulações via *softwares* computacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA (São Paulo). **MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA (em GW)**. 2022. Elaborado por ABEEólica e ANEEL. Disponível em: https://abeeolica.org.br/. Acesso em: 03 maio 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL**: resolução normativa aneel nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021(*). RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021(*). 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Entrou em vigor em 3 de janeiro de 2022. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

AGORARN (Rio Grande do Norte). **Energia elétrica**: potiguar paga sexta conta mais cara do nordeste. Potiguar paga sexta conta mais cara do Nordeste. 2022. Notícia publicada no dia 03/09/2022. Disponível em: https://agorarn.com.br/ultimas/energia-eletrica-potiguar-paga-sexta-conta-mais-cara-do-nordeste/#:~:text=O%20pre%C3%A7o%20m%C3%A9dio%20do%20kWh%20na%20regi%C3%A3o%20Nordeste,tem%20m%C3%A9dia%20apontada%20pela%20Aneel%20em%20R%24%200%2C68.. Acesso em: 04 jan. 2023.

ALI EXPRESS (Brasil). **4 pces painel solar terra aterramento lug suporte de montagem fotovoltaica grampos de alumínio painel solar aterramento clipe**. 2023. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/1005004744540449.html?pdp_npi=2%40dis%21BRL%21R%24%2073%2C25%21R%24%2035%2C18%21%21%21%21%21%400b1b2078167676446168 42372e191f%2112000030316148880%21btf&_t=pvid%3Abfad3113-3af1-40e1-ac89-2ca1fe8cc135&afTraceInfo=1005004744540449__pc__pcBridgePPC__xxxxxx__1676764462&spm=a2g0o.ppclist.product.mainProduct&gatewayAdapt=glo2bra. Acesso em: 18 fev. 2023.

ANEEL (Brasil). **Matriz por fase de construção**: empreendimentos em operação. Empreendimentos em operação. 2023. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkN

TQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAx NzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: 06 abr. 2023.

BEZERRA, Francisco Diniz. ENERGIA SOLAR. **Caderno Setorial ETENE (Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste)**: Caderno Setorial ETENE, Fortaleza, v. 6, n. 174, p. 1-15, 01 jun. 2021. Anual. Disponível em: https://198.17.121.65/s482-dspace/bitstream/123456789/834/1/2021_CDS_174.pdf. Acesso em: 17 abr. 2022.

BRAGA, Renata Pereira. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**: fundamentos e aplicações. 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf. Acesso em: 27 jan. 2022.

CAGNON, José Angelo. **Fator de Potência**. 2007. Disponível em: https://pt.slideshare.net/henriquedelgado330/fator-de-potencia-52679308. Acesso em: 29 set. 2007.

CANAL RURAL (Brasil). **Taxação do Sol: ainda vale a pena adotar energia fotovoltaica na propriedade?** 2023. PUBLICADO EM 23/03/2023 ÀS 16H53 POR LIGADOS & INTEGRADOS. Disponível em: https://www.canalrural.com.br/ligados-e-integrados/taxacao-do-sol-ainda-vale-a-pena-adotar-energia-fotovoltaica-na-propriedade/. Acesso em: 18 maio 2023.

CANAL SOLAR (Brasil). **Como vai ficar minha conta de luz com a energia solar?** 2021. Disponível em: https://canalsolar.com.br/como-vai-ficar-minha-conta-de-luz-com-a-energia-solar/. Acesso em: 05 jan. 2023.

CANAL SOLAR (Campinas - Sp). **Como saber se o DPS precisa ser substituído?**: entenda como identificar o momento em que o dps precisa ser trocado. Entenda como identificar o momento em que o DPS precisa ser trocado. 2020. Elaborado por Marcelo Villalva Especialista em sistemas fotovoltaicos. Docente e pesquisador da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da UNICAMP. Coordenador do LESF - Laboratório de Energia e Sistemas Fotovoltaicos da UNICAMP. Autor do livro "Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações". Disponível em: https://canalsolar.com.br/como-saber-se-o-dps-precisa-ser-substituido/. Acesso em: 25 mar. 2023.

CANAL SOLAR (Campinas -Sp). **Entendendo as curvas IV e PV dos módulos fotovoltaicos**: entenda as características dos módulos fotovoltaicos através das curvas iv e pv. Entenda

as características dos módulos fotovoltaicos através das curvas IV e PV. 2019. Elaborado por Marcelo Villalva, Especialista em sistemas fotovoltaicos. Docente e pesquisador da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da UNICAMP. Disponível em: https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltai-cos/#:~:text=A%20Isc%20(short%20circuit%20%E2%80%93%20corrente,que%20o%20m%C3%B3dulo%20pode%20fornecer.. Acesso em: 19 fev. 2023.

CANAL SOLAR (Campinas). **O que é DPS e como é usado nos sistemas fotovoltaicos?** entenda o que é um dps e como ele pode influenciar em sistemas fotovoltaicos. Entenda o que é um DPS e como ele pode influenciar em sistemas fotovoltaicos. 2019. Elaborado por Mateus Vinturini Especialista em sistemas fotovoltaicos e engenheiro eletricista graduado pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Entusiasta de ciências e tecnologia, com experiência no ramo da energia solar, tanto no âmbito comercial como em projeto, dimensionamento e instalação de sistemas fotovoltaicos. Disponível em: https://canalsolar.com.br/o-que-e-dps-e-como-e-usado-nos-sistemas-fotovoltaicos/. Acesso em: 27 fev. 2023.

CASARO, Marcio Mendes; MARTINS, Denizar Cruz. Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. **Sba**: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 159-172, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0103-17592010000200005.

CATHO (São Paulo). Dúvidas Trabalhistas. **Para que serve o PIS?** 2022. Disponível em: https://www.catho.com.br/conteudo/duvidas-trabalhistas/para-que-serve-o-pis.php. Acesso em: 07 nov. 2022.

CLAMPER. **CLAMPER Solar 1040V 40kA**. 2023. Disponível em: https://www.lojaclamper.com.br/dps_solar-_1040/p?idsku=78&utm_source=google&utm_medium=cpc&keyword=&gclid=EAIaIQobChMI7eHSyeC5_QIVEzKRCh3LNQ_EEAQYASABEgIhw_D_BwE. Acesso em: 01 mar. 2023.

CLIMATE DATA (Brasil). **CLIMA MOSSORÓ (BRASIL)**. 2023. Disponível em: https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-grande-do-norte/mossoro-4448/. Acesso em: 20 fev. 2023.

CLOVIS. **Aula prática 07**: medição de potência reativa com varímetro. Medição de Potência Reativa com Varímetro. 2011. Elaborada por Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Campus Cornélio Procópio), curso de Engenharia elétrica. Disciplina: Circuitos Elétricos 3. Disponível em: https://docplayer.com.br/2599519-Aula-pratica-07-medicao-de-potencia-reativa-com-varimetro.html. Acesso em: 19 out. 2022.

CLUBE MESTRES DA MANUTENÇÃO (Brasil). **Como Ligar Placas Solares Em Circuito Série, Paralelo e Misto.** 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=X8bFXrXzffg. Acesso em: 23 fev. 2023.

CODIMARC (Portugal). **Etiquetas UL**: o que significa o símbolo ul na etiqueta?. O que significa o símbolo UL na Etiqueta?. 2014. Elaborado por José Sampaio. Disponível em: https://www.codimarc.pt/blog/o-que-significa-o-simbolo-ul-na-etiqueta#:~:text=O%20Underwriters%20Laboratories%20(UL)%20%C3%A9,Telefones. Acesso em: 20 fev. 2023.

CONFEA (Brasil). Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura. **Anotação de Responsabilidade Técnica – ART**. 2023. Disponível em: https://www.confea.org.br/servicos-prestados/anotacao-de-responsabilidade-tecnica-art#:~:text=A%20ART%20%C3%A9%20o%20documento,abrangidas%20pelo%20Sistema%20Confea%2FCrea.. Acesso em: 13 mar. 2023.

CONTABILIVRE (São Paulo). **O que é COFINS? Entenda tudo sobre a contribuição**. Disponível em: https://news.contabilivre.com.br/o-que-e-cofins-entenda-tudo-sobre-a-contribuicao/. Acesso em: 07 nov. 2022.

COPETTI, Jacqueline Biancon; MACAGNAN, Mario Henrique. BATERIAS EM SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS: conversão fotovoltaica da energia solar. **I Cbens - I Congresso Brasileiro de Energia Solar**: ABENS - Associação Brasileira de Energia Solar, Fortaleza, p. 1-10, 13 ago. 2022. Anual. Apresentado em Fortaleza, 8 a 11 de abril de 2007. Disponível em: http://professor.unisinos.br/jcopetti/artigos/cbens2007.PDF. Acesso em: 13 ago. 2022.

COSERN (Rio Grande do Norte). **Neo Energia Cosern**: conheça sua conta. Conheça Sua Conta. 2022. Disponível em: https://servicos.neoenergiacosern.com.br/residencial-rural/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/conheca-sua-conta.aspx. Acesso em: 31 out. 2022.

COSERN NEOENERGIA (Rio Grande do Norte). **Composição Tarifária**: entenda como é calculado o valor final da sua fatura de energia. Entenda como é calculado o valor final da sua fatura de energia. 2022. Disponível em: https://more.ufsc.br/homepage/inserir_homepage. Acesso em: 24 dez. 2022.

COSERN, Neoenergia. **Conheça sua nova conta**: o que mudou na nova conta de luz. O que mudou na nova conta de luz. 2022. Disponível em: https://servicos.neoenergiacosern.com.br/residencial-rural/Pages/Baixa%20Tens%C3%A3o/conheca-sua-conta.aspx. Acesso em: 20 dez. 2022.

COSTA, Thiago Mendes Germano. **METODOLOGIA PARA PROJETO DE MICRO-GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**. 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2023. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data. Acesso em: 11 jan. 2023.

CWSE (Rio Grande do Norte). Brasil Company. **Curso de Instalador de Sistemas Fotovoltaicos**. Mossoró: Cwse, 2022. 104 p.

DREAMSTIME (Brasil). **Detalhes da parte de trás de uma instalação de painel solar**. 2023. Disponível em: https://pt.dreamstime.com/detalhes-da-parte-de-tr%C3%A1s-uma-instala%C3%A7%C3%A3o-painel-solar-image191616866. Acesso em: 20 fev. 2023.

ELÉTRICO, Universo *et al*. **Tabelas de Equivalência**: barramento de cobre. Barramento de cobre. 2023. Disponível em: http://www.universoeletrico.com.br/catalogo/pdf/tabelas.pdf. Acesso em: 09 mar. 2023.

ENERGIA, Cordeiro. **Entenda a relação entre conta de luz e energia solar**. 2022. Disponível em: https://canalsolar.com.br/como-vai-ficar-minha-conta-de-luz-com-a-energia-solar/. Acesso em: 05 jan. 2023.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS (São Paulo). **Dimensionamento da String Box e Quadro CA**. São Carlos, 2023. 12 slides, color, 29,7 cm x 21 cm. Disponível em: http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/wp-content/uploads/2020/09/MOD1_TEO-24_Dimensionamento-da-String-Box-e-Quadro-CA.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

ESFERABLOG INTELIGêNCIA É ENERGIA (Brasil). **Horário ponta e horário fora ponta. Qual a diferença?** 2022. Elaborado por esferablog inteligência é energia. Disponível em: https://esferaenergia.com.br/blog/mercado-livre-energia/horario-ponta-e-fora-ponta/. Acesso em: 18 set. 2022.

ESTRUTURAS SPIN (São Paulo). **Manual de Montagem**: telhado cerâmico. Sorocaba: Spin Estruturas, 2023. 14 p. Disponível em: https://spinestruturas.com/. Acesso em: 11 jan. 2023.

FARIAS, Bruno Matos de; AZEVEDO, Vanessa da Silva de; SANTOS, Mischelle Paiva dos. **Engenharia na prática**: construção e inovação. 2. ed. Rio de Janeiro: Epitaya, 2022. Livro eletrônico. Disponível em: https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/issue/view/49. Acesso em: 15 ago. 2022.

FERGUTZ, Marcos. **CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA (FP)**. Santa Catarina, 2016. 30 slides, color, 25,04 cm x 19,05 cm. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/corre_a__do_fp_5_16_15641510000793_9731.pdf. Acesso em: 06 out. 2022.

FOTUS- DISTRIBUIDORA SOLAR (Campinas). **DIMENSIONAMENTO DE CABOS DE CORRENTE ALTERNADA (CA) DE FORMA SIMPLES**. 2022. Disponível em: https://fotus.com.br/blog/cabos-de-corrente-alternada/. Acesso em: 08 mar. 2023.

FOX LUX (Pinhais (Paraná)). **Como dimensionar eletrodutos**. 2023. Disponível em: https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/como-dimensionar-eletrodutos/. Acesso em: 09 mar. 2023.

FRANÇA, Juscelino. **ENGIE**: usina solar assú v conquista certificação da onu pela redução de emissões de carbono. Usina Solar Assú V conquista certificação da ONU pela redução de emissões de carbono. 2017. Elaborado por Juscelino França: o único Blog de centro esquerda do vale do Assú. Disponível em: https://juscelinofranca.blogspot.com/2017/09/engie-usina-solar-assu-v-conquista.html. Acesso em: 24 dez. 2022.

G1(INTER TV) (Rio Grande do Norte). **Petrobras conclui venda de parques eólicos Mangue Seco 3 e 4 no RN**. 2021. Disponível em: https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2021/04/07/petrobras-conclui-venda-de-parques-eolicos-mangue-seco-3-e-4-no-rn.ghtml. Acesso em: 24 dez. 2022.

GASPARIN, Fernanda Bach; LIMA, Victória Oliveira Diaz de; MICHELETTI, Débora Hungaro; BURIN, Eduardo Lucas Konrad. The Influence of Public Policies for the Progress of Photovoltaic Solar Generation and Diversification of The Brazilian Energy Matrix. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 77-81, 2022. Sociedade Brasileira de Quimica (SBQ). http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210102.

GOOGLE MAPS (Rio Grande do Norte). **Latitude e Longitude do município de Mossoró**. 2023. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-5.1970048,-37.3489664,13z. Acesso em: 11 jan. 2023.

GRUPO IEP (Portugal). **Inspeção em pequenos Parques Fotovoltaicos**: que desafios? Que Desafios? 2020. Disponível em: https://ajorgelima.com/inspecao-em-pequenos-parques-fotovoltaicos-que-desafios/. Acesso em: 25 mar. 2023.

INTELBRAS (Brasil). **Inversor intel bras**. 2023. Disponível em: https://backend.intelbras.com/sites/default/files/2022-05/Datasheet_EGT_2%2C5k_6k_PRO_3.pdf. Acesso em: 05 mar. 2023

JANELA E CIA (São Paulo). **Estrutura Suporte Fixador Placa Painel Solar Alumínio e Inox Para Telha Cerâmica e Cimento | Perfil Master | Kit 06 Un**. 2022. Disponível em: https://www.janelaecia.com.br/energia-solar/estrutura-suporte-fixacao/estrutura-suporte-fixador-placa-painel-solar-aluminio-e-inox-para-telha-ceramica-e-cimento-perfil-master-kit-06-un?parceiro=3752&gclid=EAIaIQobChMIwuSrm56T_QIVbBXUAR3rMw_VEAQYAiABEgItWfD_BwE. Acesso em: 13 fev. 2023.

JORNAL PEQUENO (Brasil). **Instalações elétricas**: a cada 5 anos é indicado que seja feita uma revisão nos sistemas elétricos. A cada 5 anos é indicado que seja feita uma revisão nos sistemas elétricos. 2020. Disponível em: https://jornalpequeno.com.br/2020/08/29/instalacoes-eletricas-possuem-prazo-de-validade/. Acesso em: 25 mar. 2023.

JUSBRASIL (Brasil). **PIS e Cofins na tarifa de energia elétrica**. 2022. Elaborado por Vítor Ferreira Alves de Brito. Disponível em: https://cfc.jusbrasil.com.br/noticias/1728049/pis-e-cofins-na-tarifa-de-energia-
eletri-

ca#:~:text=O%20PIS%2FPasep%20e%20a,momento%20de%20forma%C3%A7%C3%A3o%20do%20pre%C3%A7o.. Acesso em: 07 nov. 2022.

LUGAR CERTO (Minas Gerais). **Especialistas recomendam cuidados com eletricidade dentro de casa**: baixa tensão, presente em qualquer eletrodoméstico, pode causar ferimentos graves e até matar. especialistas ensinam como ter segurança dentro de casa e evitar acidentes. Baixa tensão, presente em qualquer eletrodoméstico, pode causar ferimentos graves e até matar. Especialistas ensinam como ter segurança dentro de casa e evitar acidentes. 2012. Disponível em: https://estadodeminas.lugarcerto.com.br/app/noticia/noticias/2012/01/02/interna_noticias,45667/especialistas-recomendam-cuidados-com-eletricidade-dentro-de-casa.shtml. Acesso em: 24 fev. 2023.

MARQUES, Humberto Fernando Martins. **BELO HORIZONTE E AUTOGERAÇÃO DE ENERGIA**: uma abordagem do impacto socioambiental positivo: usina escola. 2021. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Arquitetura, Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/39875/1/MARTINS_HUMBERTOREVISADO.pdf. Acesso em: 25 ago. 2022.

MERCADO LIVRE (Brasil). **Barramento Cobre Neutro Terra 100a 1/2 X 1/8 X 6 Parafusos**. 2023. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1449895145-barramento-cobre-neutro-terra-100a-12-x-18-x-6-parafusos-_JM?matt_tool=56291529&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413604&matt_ad_group_id=133074303519&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=584156655498&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=109654657&matt_product_id=MLB1449895145&matt_product_partition_id=2009964045832&matt_target_id=pla-2009964045832&gclid=EAIaIQobChMI9ZqD__7U_QIVAWSRCh3FaQBGEAQYASABEgKWcfD_BwE. Acesso em: 11 mar. 2023.

MONTENEGRO, Alexandre de Albuquerque. **Avaliação do Retorno do Investimento em Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Residencias Unifamiliares Urbanas no Brasil**. 2013. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação em

Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/130917. Acesso em: 31 ago. 2022.

MORAES JÚNIOR, Rudinei; BAGNARA, Mônica. OS PRINCÍPIOS QUÍMICOS E FÍSICOS ENVOLVIDOS NO FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS. In: XXIV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24., 2016, [Três Passos]. **Ensaio Teórico.** [Três Passos]: Unijui, 2016. p. 1-6. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/7208-Texto%20do%20artigo-31138-1-10-20160922.pdf. Acesso em: 06 mar. 2022.

MORENO, Hilton. **Cabos Elétricos para instalações fotovoltaicas**. São Paulo: Ifc/Cobrecom, 2019. 72 p. O Prof. Hilton Moreno é engenheiro eletricista pela Escola Politécnica da USP; Consultor da IFC/COBRECOM; Professor universitário; Cocriador do curso de pósgraduação em Instalações Elétricas Prediais, Comerciais e Industriais; Membro de Comissões de Estudos da ABNT (NBR 5410; NBR 16690, NBR 14039; etc.); Autor de livros, manuais, artigos; Autor do livro Cabos Elétricos para Baixa Tensão conforme a NBR 5410 publicado pela COBRECOM; Palestrante profissional; Diretor da Revista Potência. Disponível em: https://revistapotencia.com.br/wp-content/uploads/2020/04/Livro-Cobrecom-Cabos-el%C3%A9tricos-para-instala%C3%A7%C3%B5es-fotovoltaicas-revis%C3%A3o-1.pdf. Acesso em: 25 fev. 2023.

NEO ENERGIA COSERN (Rio Grande do Norte). **ANEXO 2 – REQUISITOS PARA SERVIÇOS, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS**. 2023. Disponível em: https://servicos.neoenergiacosern.com.br/a-cosern/Documents/chamada-publica/anexo-2-requisitos-para-servicos-materiais-equipamentos-cosern.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

NEOENERGIA ELEKTRO (Brasil). **Seu Negócio**: irrigação e aquicultura. Irrigação e Aquicultura. 2021. Disponível em: https://www.neoenergiaelektro.com.br/seu-negocio/irrigacao-e-aquicultura. Acesso em: 13 dez. 2022.

NEONERGIA (COSERN) (Rio Grande do Norte). Companhia Energética do Rio Grande do Norte S.A. **TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA**: grupo a. GRUPO A. 2022. Disponível em: file:///C:/Users/Usu%C3%A1rio/Downloads/01-neoenergia-cosern-tarifas-de-energia-eletrica-grupo-a-abril-2022-reh-n-3025-1.pdf. Acesso em: 20 set. 2022.

NEONERGIA COSERN (Rio Grande do Norte). **Ligação de Microgeração ou Minigeração de Energia**: sistema de compensação de energia. Sistema de Compensação de Energia. 2023.

Disponível em: https://servicos.neoenergiacosern.com.br/residencial-rural/Pages/geracao-distribuida.aspx. Acesso em: 12 mar. 2023.

NUBANK (Brasil). Financeiro. **O que é ICMS?**: quem paga e quem é isento desse tributo?. Quem paga e quem é isento desse tributo?. 2022. Disponível em: https://blog.nubank.com.br/o-que-e-icms/. Acesso em: 07 nov. 2022.

NUNES, André Figueiredo *et al*. **O CHOQUE DO PETRÓLEO de 1973**: estados unidos, opaep e a segurança energética. 2016. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de História Comparada, Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: file:///J:/Semestre%202021.2/TCC/diss_AndreFigueiredoNunes.pdf. Acesso em: 20 mar. 2022.

OPUS SOLAR (Paraná). **Módulo Solar Osda – 550W**. 2023. Disponível em: https://loja.opussolar.com.br/produto/modulo-solar-osda-505w/. Acesso em: 09 jan. 2023.

RAIMUNDO, Thiago Henrique Ananias. **CURSO**: projetando e dimensionando sistema fotovoltaico. São Paulo, 2020. 159 slides, color, 33,87 cm x 19,05 cm. Disponível em: https://aett.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Curso-PROJETANDO-E-DIMENSIONANDO-SISTEMA-FOTOVOLTAICO-Oficial.pdf. Acesso em: 24 fev. 2022.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; KRENZINGER, Arno; ROMERO, Faustino Chenlo. Description and Analysis of Inverters Used in Photovoltaic Systems: descrição e análise de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos. **Revista Ciencias Exatas e Naturais**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 1-26, 07 ago. 2022. Anual. GN1 Genesis Network. http://dx.doi.org/10.5935/recen.2013.01.02.

RENOVIGI ENERGIA SOLAR (Chapecó/SC). **Como são fabricados os painéis solares?** 2019. Disponível em: https://blog.renovigi.com.br/2019/12/18/como-sao-fabricados-os-paineis-solares/. Acesso em: 06 jul. 2022.

RIBEIRO FILHO, Luiz Alberto de Souza; PEREIRA, Vitor Lima; VELÁZQUEZ, Silvia Maria Storini Gonzalez. **Simulador de energia solar para implementação de sistemas fotovoltaicos no contexto urbano**. 20222. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia (EE), Escola de Engenharia Mackenzie, Higienópolis, 2022. Disponível em:

https://dspace.mackenzie.br/bitstream/handle/10899/29188/Luiz%20Alberto%20de%20Souza%20Ribeiro%20Filho%20-%20protegido.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 jun. 2022.

RIBEIRO JÚNIOR, Sebastião. **Instalações Elétricas Prediais e Industriais – I (TE344)**: aula 08 - divisão da instalação. Curitiba, 2020. 35 slides, color, 29,7cm x 21 cm. Disponível em: http://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/te344%20aula%2008%20-%20divisao%20da%20instalacao.pdf. Acesso em: 01 set. 2022.

RONCOLATTO, Ronaldo Antonio *et al*. PROJETO TELHADOS SOLARES – METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS, MONTAGEM E INSPEÇÃO DE INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS. **Congresso Brasileiro de Energia Solar-Cbens**, [*s. l*], p. 1-10, 2018. Anual. Disponível em: https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/139/139. Acesso em: 12 ago. 2022.

SHAYANI, Rafael Amaral. **Medição do Rendimento Global de um Sistema Fotovoltaico Isolado Utilizando módulos de 32 células**. 2006. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, Heitor Marques Francelino da; ARAÚJO, Francisco José Costa. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero**: Americana de Humanidades, Ciências e Educação-REASE, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 1-11, 31 mar. 2022. Mensal. Disponível em: https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654/1751. Acesso em: 27 ago. 2022.

SILVA, Pedro Vitor Ildefonso da. **ANÁLISE DAS TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA**. 2022. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território (Ilatit), Universidade Federal da Integração Latino Americana, Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em:https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/6535/An%C3%A1lise%20das%20Tarifas%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20da%20Universidade%20Federal%20da%20Integra%C3%A7%C3%A3o%20Latino-Americana?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 set. 2022.

SOLAR BRASIL (Brasil). **Módulos Fotovoltaicos – Parâmetros técnicos**. 2017. Elaborado por Alessandra Berto. Disponível em: https://www.solarbrasil.com.br/blog/modulos-

fotovoltaicos-parametros-
tecni-
cos/#:~:text=Voc%20(V)%20Open%20%E2%80%93circuit,nulo%20e%2C%20consequentemente%20pot%C3%AAncia%20nula.. Acesso em: 19 fev. 2023.

SOLAR VALLE ENERGIA SOLAR (São Paulo). **O melhor horário para geração de energia solar**: qual o melhor horário para geração de energia solar?. QUAL O MELHOR HORÁRIO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR?. 2022. Disponível em: https://solarvalle.com.br/blog/o-melhor-horario-para-geracao-de-energia-
so-
lar/#:~:text=As%20horas%20de%20Sol%20Pico,dependendo%20do%20local%20da%20instala%C3%A7%C3%A3o.. Acesso em: 31 dez. 2022.

SOLAR, H3. **Payback**: como calcular o retorno de um investimento em energia solar. Como calcular o retorno de um investimento em energia solar. 2021. Disponível em: https://h3solar.com/payback-como-calcular-o-retorno-de-um-investimento-em-energia-solar/. Acesso em: 04 jan. 2023.

SOLAR, Peça. **Grampo Intermediário 35-40mm 2P**. 2023. Disponível em: https://www.pecasolar.com.br/estrutura/pecas-avulsas/grampo-intermediario-35-40mm-2p. Acesso em: 18 fev. 2023.

SOUZA, Thiago Miranda de. **Estudo de Técnicas de Manutenção Preventiva em Instalações Fotovoltaicas**. 2021. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Faculdade Unb Gama - Fga, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SPARK, Weather. **Clima e condições meteorológicas médias em Mossoró no ano todo**. 2023. Disponível em: https://pt.weatherspark.com/y/31215/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Mossor%C3%B3-Brasil-durante-o-
ano#:~:text=O%20per%C3%ADodo%20chuvoso%20do%20ano,mil%C3%ADmetros%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20de%20chuva.. Acesso em: 21 mar. 2023.

SUNERGIA (São Paulo). **FERRAMENTAS E KITS PARA INSTALAÇÃO DE PLACAS SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2018. Disponível em: https://sunergia.com.br/blog/ferramentas-e-kits-para-instalacao-de-placas-solar-fotovoltaica%e2%80%8e/. Acesso em: 12 ago. 2022.

TROJAN, Flavio; MARÇAL, Rui Francisco Martins; BARAN, Leandro Roberto. CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO PELO MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI. **Sobrapo**, Natal, p. 1-15, 16 set. 2013. Anual. Artigo apresentado na 5° edição do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Disponível em: http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

UNITEK. **Protetor Surto Classe 2 Weg Spw02-275-40 40ka**. 2023. Disponível em: https://www.unitek.ind.br/protetor-surto-classe-2-weg-spw02-275-40-40ka?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=EAIaIQobChMItpOSh__J_QIVEPaRCh0ACQYNEAQYAiABEgJTqvD_BwE. Acesso em: 07 mar. 2023.

VEGASOLAR (São Paulo). **Preco-das-celulas-fotovoltaicas**. 2016. Disponível em:https://vegasolar.com.br/energia-solar/subsidio-energia-solar-esta-esmagando-custos/attachment/preco-das-celulas-fotovoltaicas-2/. Acesso em: 18 maio 2023.

VIRTUAL, Caern-Agência. **Conheça as nossas tarifas**. 2023. Disponível em: https://www.caern.com.br/#/tarifas. Acesso em: 22 mar. 2023.

WAY2BLOG. **O que é fator de carga e fator de demanda?**: fator de carga. Fator de carga. 2022. Tudo sobre gestão de energia e o setor elétrico!. Disponível em: https://www.way2.com.br/blog/fator-de-carga-e-fator-de-demanda/#:~:text=O%20fator%20de%20carga%20(FC,s%C3%A3o%20pr%C3%B3ximas%20da%20demanda%20m%C3%A1xima.. Acesso em: 03 nov. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A-COBRANÇA NO GRUPO A (RN, GRUPO VERDE)

No grupo verde tem-se (Equação 9):

$$P_{ca} = (TC_P).(C_P) + (TC_{fP}).(C_{fP}) \quad (9)$$

Onde:

- P_{ca} → Parcela de consumo Ativo (em R$)
- TC_P →Tarifa de Consumo na ponta (em R$/kWh)
- C_P →Consumo medido na ponta (em kWh)
- C_{fP} →Consumo medido fora de ponta (em kWh)
- TC_{fp} →Consumo medido fora de ponta (em R$/kWh)

Os valores de TC_P e TC_{fp} encontram-se na Tabela 12

Tabela 12-Tarifas de Consumo de Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Verde

Membros do Grupo	**Valores da Tarifa(R$/kWh)**	
A4	TC_P=2,38881000	TC_{fp}=0,34468000
A4-Rural	TC_P=2,34103380	TC_{fp}=0,33778640
A4-Rural Irrigante	TC_P=2,34103380	TC_{fp}=0,33778640
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	TC_P=2,31714570	TC_{fp}=0,33433960

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Além da parcela de consumo ativo também se tem a parcela de demanda ativa (P_{da}) a parcela de demanda corresponde ao valor da demanda (carga instalada especificada no contrato de aquisição) que foi solicitada perante a distribuidora de energia para determinado estabelecimento (Equação 10).

$$P_{da} = T_{da} . D_{ac} \quad (10)$$

Onde:

- P_{da} → Parcela de demanda ativa (em R$)
- T_{da}→Tarifa de demanda ativa (em R$/kW)
- D_{ac}→Demanda ativa contratada (em kW)

Os valores da Tarifa de demanda ativa (T_{da}) encontram-se presentes na Tabela 13.

Tabela 13-Tarifas de demanda da COSERN, Grupo Verde

Membros do Grupo	**Valores da Tarifa(R$/kW)**
A4	$T_{da} = 27{,}56$
A4-Rural	$T_{da} = 27{,}0088$
A4-Rural Irrigante	$T_{da} = 27{,}0088$
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	$T_{da} = 26{,}7332$

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Existe também uma tarifa de ultrapassagem de demanda quando o consumo medido vai além da carga instalada especificada no contrato de aquisição. A condição para que a parcela referente a ultrapassagem seja cobrada é que a demanda medida ultrapasse o valor de 5% da demanda contratada (SILVA, 2022) é dada pela Equação 11. Os valores de cobrança da Tarifa de Ultrapassagem é 55,12 R$/kW de todos os consumidores do grupo A na tarifa verde.

$$P_u = T_u . (D_m - D_C) \quad (11)$$

Onde:

- P_u → Parcela de ultrapassagem (em R$)
- T_u→Tarifa de ultrapassagem (em R$/kW)
- D_C→Demanda contratada (em kW)

- D_M→Demanda medida (em kW)

Se caso a demanda ultrapassada for registrada nos horários de ponta utiliza-se a Equação 12 para sua determinação.

$$D_{u\,(P)} = [PAM_{(P)}\text{-}PAC_{(P)}].2.VRDULT_{(P)} \qquad (12)$$

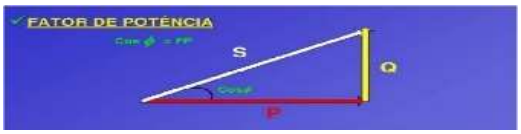
Onde:

- $D_{u\,(P)}$ → Parcela de ultrapassagem na ponta (em R$)
- $PAM_{(P)}$→parcela de demanda ativa medida durante o horário de ponta (em kW) quando cabível.
- $PAC_{(P)}$→Demanda contratada (em kW) quando cabível, atuante na ponta
- $VRDULT_{(P)}$→Valor de tarifa equivalente as tarifas de demanda de potência aplicáveis ao grupo A, ou seja, a tarifa de ultrapassagem do grupo verde (em R$/kW).

APÊNDICE B-COBRANÇA DE ENERGIA REATIVA

Antes de especificar as demais as tarifas, é necessário se fazer uma abordagem a respeito do fator de potência (FP). Pode-se dizer que existem três tipo de potência a ativa (dada em W), a potência reativa (dada em VA_R, Volt Ampere Reativo) e aparente (dada VA, Volt Ampere). A potência aparente pode ser entendida como a potência que é fornecida ao sistema, a potência ativa é aquela que realmente é transformada em trabalho e a reativa corresponde a potência que é utilizada na geração de campos magnéticos e elétricos. Do ponto de vista matemático essas três potencias podem estar dispostas em um triângulo retângulo (Figura 35).

Figura 35-Triângulo das potencias



Fonte: CAGNON, 2007

Onde:

- S corresponde a potência Aparente
- Q a potência reativa
- P a potência ativa

Como as potências estão dispostas em um triângulo retângulo pode-se descrevê-las, através de equações trigonométricas (Equações 13 e 14).

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (13)$$

$$\cos ø = \frac{P}{S} \quad (14)$$

Como demonstrado o fator de potência corresponde ao cosseno do ângulo do triângulo formado (vale ressaltar que a designação cosø é muito comum também para este fator em alguns equipamentos industriais). Quanto mais próximo de um o fator de potência for mais próximo de 1 (ø≈0°) maior é a eficiência da instalação elétrica, pode-se classificar o fator de potência como sendo capacitivo ou indutivo, onde havendo um fator de potência indutivo ocorre a absorção de energia reativa perante a instalação elétrica analisada (presença de unidades de consumo eletromagnético na instalação em excesso) , já o capacitivo a instalação elétrica está fornecendo energia reativa a rede(excesso de capacitores na instalação) externa, o valor mínimo permitido pela ANEEL é o de 0,92 (NEOENERGIA PERNAMBUCO, 2022).O consumo de Energia reativa para os consumidores do grupo verde pode ser calculado através da Equação 15.

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^{n} [EEAM_T . (\frac{f_R}{f_T} - 1)] . VR_{ERE} \quad (15)$$

Onde:

- E_{RE} → valor correspondente a energia elétrica reativa excedente a quantidade permitida pelo fator de potência de referência ($f_R = 0{,}92$), no período de faturamento em Reais.
- $EEAM_T$ →Montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo de tempo "T" de uma hora durante o período de faturamento em kWh.
- f_R→Fator de potência de referência ($f_R = 0{,}92$).
- f_T →Fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo de "T" de uma hora, durante o período de faturamento.

- VR_{ERE} →Valor da tarifa referente ao consumo reativo excedente dado em R$/ kWh (0,28654 R$/ kWh, vale ressaltar que esta tarifa é válida também para o grupo B).

A correção do fator de potência se dá através de banco de capacitores (Figura 36) que joga energia reativa contraria a instalação, possibilitando o ajuste do valor do fator de potência. No entanto, além disto, é preciso que medidas adicionais sejam adotadas, tais medidas são o desligamento de cargas indutivas ociosas e a verificação e correção do superdimensionamento de motores.

Figura 36-Banco de Capacitores

Fonte: FERGUTZ, 2016

Além da taxa do consumo de energia reativa também é cobrada a demanda reativa excedente (Equação 16):

$$\text{FDR}= [\text{DM}. (\frac{0,92}{f_m}) \text{ -DF}]. \text{TDA} \quad (16)$$

Onde:

- FDR→ Faturamento Mensal de demanda reativa excedente (em R$)
- DM→Demanda ativa máxima registrada no mês (em Kw)
- f_m →fator de potência médio mensal
- DF→Demanda ativa faturável (Demanda contratada em Kw)
- TDA→ Tarifa de Demanda Ativa (Tarifa de demanda em R$/Kw, Tabela 13)

A energia reativa capacitiva(gerada por motores síncronos e ou capacitores) é medida no período de seis horas consecutivas definido pela distribuidora entre 23 h:30min e 06 h:30 min quando o fator de potência capacitivo for menor que 0,92 e a energia reativa indutiva (gerada por circuitos com bobinas e é a mais comum) no restante das horas do dia quando o fator de potência indutivo for menor que 0,92;isto é valido ; para unidades consumidoras do grupo A e também as unidades optantes de faturamento do grupo B (BASTOS, 2022).As concessionárias tem uma taxa específica para demanda reativa excedente (no caso da COSERN para o grupo A verde é 27,56 R$/Kw) em que se faz a medição da potência reativa no intervalo de tempo já citado e depois obtêm-se o valor médio desta medida por mês em Kw, isto é possível, matematicamente graças a Equação 16→ $\cos ø = \frac{P}{S}$ $\rightarrow P = \cos ø.S$, onde o cosø pode ser entendido como o fator de potência médio mensal da Equação 16 (f_m) e o S corresponde a potência fornecida ao sistema , pode ser obtida com o somatório das potências de todos os equipamentos elétricos ligados a rede de uma determinada instalação elétrica. O P obtido corresponderá ao valor do equivalente ativo da potência reativa, se este valor for maior do que a demanda estipulada em contrato o excedente será cobrado, o excedente é o resultado da subtração entre a demanda contratada e o valor de P obtido, depois faz-se a multiplicação pela tarifa em R$/Kw, obtendo assim o valor em reais. Todo este processo de medição na prática é feito de forma precisa e monitorada, por meio de equipamentos e *softwares* específicos. O aparelho que mede a energia reativa é o Varímetro (Figura 37).

Figura 37-Exemplo de Varímetro

Fonte: CLOVIS, 2011

APÊNDICE C-COBRANÇAS NO GRUPO A (RN, GRUPO AZUL)

No grupo Azul a parcela de consumo ativo pode ser calculada também através da Equação 10, no entanto, os valores das tarifas de consumo na ponta (TC_P) e fora de ponta (TC_{fP}) são diferentes das do grupo verde (Tabela 14).

Tabela 14-Tarifas de Consumo de Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Azul

Membros do Grupo	**Valores da Tarifa(R$/kWh)**	
A4	TC_P=0,5157	TC_{fp}=0,34468000
A4-Rural	TC_P=0,50715	TC_{fp}=0,33778640
A4-Rural Irrigante	TC_P=0,50715	TC_{fp}=0,33778640
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	TC_P=0,501975	TC_{fp}=0,33433960
A3-Rural	TC_P=0,484365	TC_{fp}=0,31500140
A3-Rural Irrigante	TC_P=0,484365	TC_{fp}=0,31500140
A3	TC_P=0,49425	TC_{fp}=0,32143
A2	TC_P=0,49052	TC_{fp}=0,3177

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

No grupo Azul as tarifas de demanda ativam são cobradas tanto na ponta como fora de ponta (Equação 17 e Tabela 15)

$$P_{da} = T_{dp}.D_{Cp} + T_{dfp}.D_{Cfp} \quad (17)$$

Onde:

- P_{da} → Parcela de demanda ativa (em R$)
- T_{dp} →Tarifa de demanda na ponta (em R$/kW)
- D_{Cp} → Demanda consumida na ponta (em kW)
- D_{CfP} → Demanda consumida fora da ponta (em kW)

- T_{dfp} → Tarifa de demanda fora de ponta (em R$/kW)

Tabela 15-Tarifas de Demanda na Ponta e Fora de ponta da COSERN, Grupo Azul

Membros do Grupo	**Valores da Tarifa(R$/kW)**	
A4	T_{dp} =77,07	T_{dfp}=27,56
A4-Rural	T_{dp} =75,52860	T_{dfp}=27,0088
A4-Rural Irrigante	T_{dp} = 75,528	T_{dfp}=27,0088
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	T_{dp} =74,7579	T_{dfp}=26,7332
A3-Rural	T_{dp} =21,2856	T_{dfp}=11,5346
A3-Rural Irrigante	T_{dp} = 21,2856	T_{dfp}=11,5346
A3	T_{dp} =21,72	T_{dfp}=11,77
A2	T_{dp} =22,03	T_{dfp}=9,78

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

A parcela de demanda de ultrapassagem também leva em consideração estes aspectos (Equação 18).

$$P_{up} = T_{up}.(D_{mp} - D_{Cp}) + T_{ufp}.(D_{mfp} - D_{Cfp}) \quad (18)$$

Onde:

- P_{up} → Parcela de ultrapassagem (em R$)
- T_{up} →Tarifa de ultrapassagem na ponta (em R$/kW)
- D_{mp} →Demanda medida na ponta (em kW)
- D_{Cp} →Demanda contratada na ponta (kW)
- T_{ufp}→Tarifa de demanda fora de ponta (em R$/kW)
- D_{mfp} →Demanda medida fora de ponta (em R$/kW)
- D_{Cfp} →Demanda contratada fora de ponta (em R$/kW)

Na Tabela 16 tem-se os valores referentes as tarifas de ultrapassagem na ponta, fora de ponta.

Tabela 16-Tarifas de ultrapassagem na ponta e fora ponta da COSERN, Grupo Azul

Membros do Grupo	**Valores da Tarifa(R$/kW)**	
A4	T_{up} =154,14	T_{ufp}=55,12
A4-Rural	T_{up} = 154,14	T_{ufp}=55,12
A4-Rural Irrigante	T_{up} =154,14	T_{ufp}=55,12
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	T_{up} =154,14	T_{ufp}=55,12
A3-Rural	T_{up} =43,44	T_{ufp}=23,54
A3-Rural Irrigante	T_{up} =43,44	T_{ufp}=23,54
A3	T_{up} =43,44	T_{ufp}=23,54
A2	T_{up} =44,06	T_{ufp}=19,56

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

O consumo de Energia reativa para os consumidores do grupo azul também pode ser calculado através da Equação 15. O valor da demanda reativa pode ser calculado através da Equação 19

$$D_{RE(P)} = \left\{MAX_{T=1}\left[PAM_T \cdot \left(\frac{f_R}{f_T}\right)\right] - PAF_{(P)}\right\}.VR_{DRE} \tag{19}$$

Onde:

- $D_{RE(P)}$→ Valor (em R$), por posto tarifário “p” (pode ser entendido como os horários de ponta, fora de ponta, e os intervalos de tempo entre esses horários). da demanda de potência reativa excedente permitida pelo fator de potência de referencia f_R no período de faturamento (normalmente mensal).
- PAM_T → Demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “T” durante o período de faturamento (em kW).

- $PAF_{(P)}$ →Demanda ativa faturável, em cada posto tarifário "p", no período de faturamento (em kW).
- VR_{DRE}→valor de referência (em R$/kW) equivalente às tarifas de demanda de potência (para o posto tarifário de ponta T_{dp} , Tabela 6) do Grupo A azul.
- f_R →fator de potência de referencia (0,92)
- f_T→fator de potência medido no espaço de tempo T

O termo $MAX_{T=1}$ corresponde ao máximo que pode ser medido no intervalo de uma hora (T=1) para a partícula $\left[PAM_T \cdot \left(\frac{f_R}{f_T}\right)\right]$. Assim como no grupo verde existe uma tarifa que cobra a demanda excedente reativa em R$/kW (no grupo verde é uma tarifa única para ponta e fora de ponta, entretanto, não é única para todos os membros do grupo azul Tabela 17). A demanda reativa excedente pode ser obtida novamente pela Equação 16 na forma $P = \cos ø.S$, sendo que a única diferença em relação ao grupo verde nesta aplicação matemática é que o cosø pode ser entendido como o f_T da Equação 19.

Tabela 17- Tarifa demanda reativa excedente ponta e fora ponta

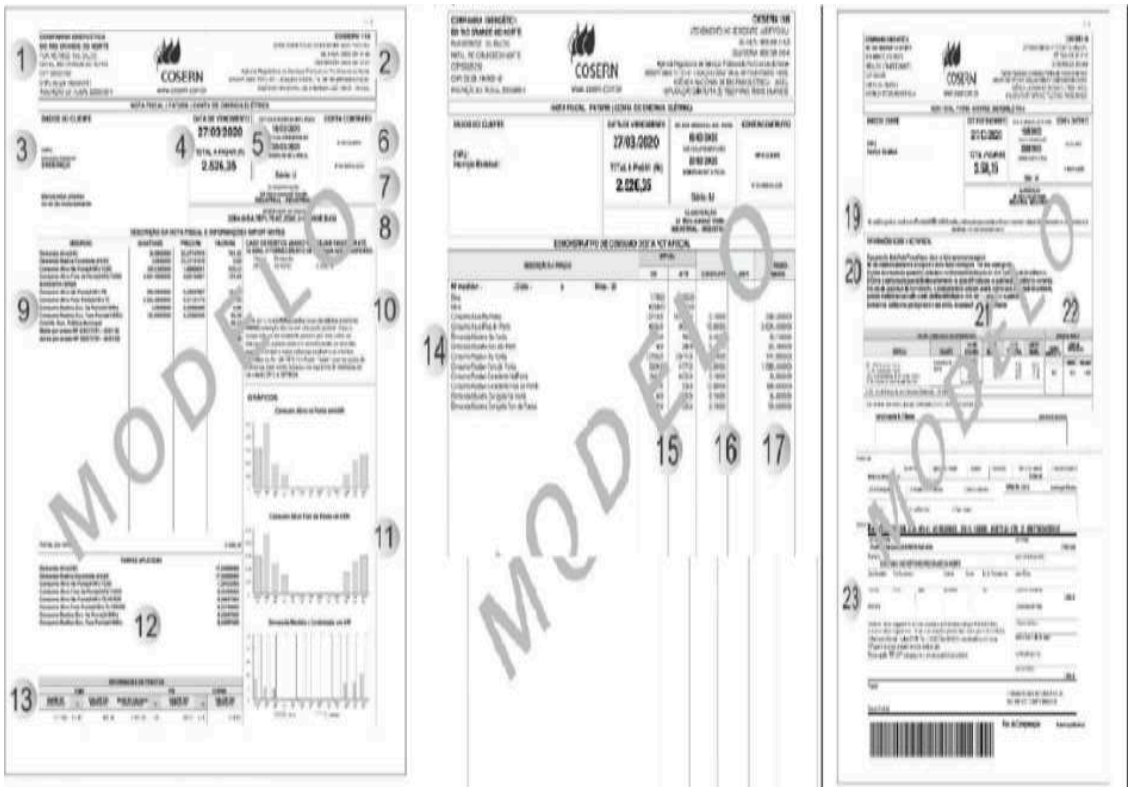
Membros do Grupo	**Valores de tarifa(R$/kW)**
A4	27,56
A4-Rural	27,56
A4-Rural Irrigante	27,56
A4-Serviço Público de Água, Esgotamento e Saneamento	27,56
A3-Rural	11,77
A3-Rural Irrigante	11,77
A3	11,77
A2	9,78

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

APÊNDICE D-DETALHAMENTO DAS FATURAS GRUPO A E B

Na figura 38 se tem um Exemplo de Fatura de um consumidor pertencente ao Grupo A.

Figura 38-Exemplo de Tarifa do grupo A



Fonte: COSERN, 2022

Na Figura 38, tem-se:

- 1- Dados da distribuidora.
- 2-Canais de Atendimento da Distribuidora e Agências Reguladoras.
- 3-Informações do Cliente e da Unidade Consumidora,
- 4- Data de vencimento e Valor Total a Pagar,
- 5- Data de Emissão da Nota Fiscal, Data de Apresentação, Número da Nota Fiscal e Série,
- 6-Número da Conta contrato, número do cliente e numeração da instalação
- 7-Classificação da Unidade Consumidora,
- 8-Informação de Reservado ao Fisco,
- 9-Descrição da Nota Fiscal: Descrição do Consumo, Quantidade, preço e Valor,

- 10-Informações Importantes e Aviso de Faturas em Aberto,
- 11-Gráficos de Evolução de consumo e Demanda,
- 12-Tarifas de Consumo cobradas
- 13-Informações de Tributos: ICMS, PIS e COFINS
- 14-Descrição da Função, Número do Medidor, Leituras, N° de dias.
- 15- Informações de leitura,
- 16-Informação constante ajuste
- 17- Consumo e Demanda,
- 18- Dados Complementares-Fator de carga – Na ponta- Fora de Ponta- Demanda- Data Prevista para próxima leitura.
- 19-Informações sobre as Condições gerais de fornecimento
- 20-Informações sobre a nota fiscal- Bandeira Tarifaria Vigente
- 21-Informações sobre duração e Frequência das Interrupções.
- 22- Informações dos níveis de tensão e Tensão Nominal.
- 23-Boleto bancário

O campo Informação reservado ao fisco pode ser entendido como número de identificação eletrônica da fatura (ENEL, 2018). O fator de carga (Equação 20) matematicamente pode ser entendido como a razão entre a energia ativa consumida (Demanda média-$D_{méd}$) e a energia máxima que poderia ser utilizada em um dado intervalo de tempo (Demanda Máxima-$D_{máx}$).

$$F_{carga} = (\frac{D_{média}}{D_{MÁX}}) \tag{20}$$

A Demanda Média pode ser também entendida como consumo energia ativa (em kWh) e a Demanda máxima pode ser entendida como o valor da demanda contratada (em kW) multiplicada pelo intervalo de tempo(em horas) onde se está havendo consumo de energia o valor do fator de carga varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1 maior a eficiência energética da instalação (WAY2BLOG, 2022).O ICMS é o Imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços de transporte interestadual e Intermunicipal e Comunicação . Regulamentado pela Lei Kandir (Lei complementar 87/1996) é um tributo estadual e seu valor é definido pelos estados e pelo distrito federal (NUBANK, 2022). As concessionárias de energia executam atividades que necessitam de transporte veicular, muitas ve-

zes entre municípios, por esta razão, a fatura de energia inclui este tributo que pode ser demonstrada na fatura e influencia na criação e/ou reformulação de tarifas. Vale ressaltar que as tarifas aqui apresentadas possuem um tempo de vigência até o dia 21/04/2023.E anualmente estas tarifas podem ser submetidas a reformulações.

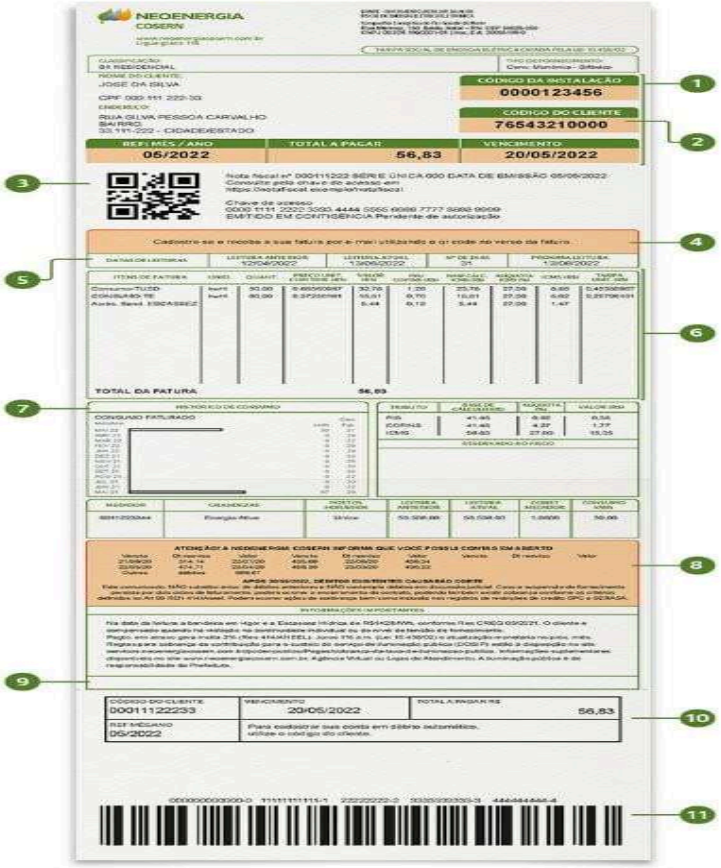
O PIS corresponde ao Programa de Integração Social, corresponde a uma contribuição tributaria realizada pelas empresas, destinada aos profissionais do setor privado, que visa financiar o pagamento do seguro desemprego, abono e participação nas receitas destas organizações (CATHO, 2022).Juntamente com o COFINS são tributos incidente sobre a receita e a faturamento de empresas (neste caso as concessionárias) por isso , são levados em consideração no preço de um produto ou serviço que uma determinada empresa oferece(JUSBRASIL, 2022). O COFINS corresponde a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social, consiste em um tributo que tem como como finalidade custear a seguridade social, ou seja, serviços que abarcam a previdência, assistência social e saúde da população (CONTABILIVRE, 2022).No caso da conta de energia o PIS, CONFINS e o ICMS são cobrados com base em alíquotas (pode per entendida como o percentual de um tributo sobre o valor de algo tributado) em que as parcelas referentes as alíquotas de luz correspondem uma parcela do total a pagar das faturas de energia. Estes tributos tem seus valores determinados por lei no qual as a tarifas são direcionadas ao poder público, é importante destacar que todos os valores arrecadados pelas empresas de energia através de fatura, depois são repassados pela autoridade competente para sua cobrança (COSERN NEOENERGIA, 2022).Tais alíquotas estão sujeitas a reformulações que são determinadas pelo poder público vigente , no caso da cobrança de energia o ICMS está mais ligado ao governo estadual e o PIS e CONFINS ao governo federal. Informações sobre duração e Frequência das Interrupções corresponde é um dado que tem ligação direta com as quedas de energia.

O grupo B também possui uma tarifa parcela de consumo reativo excedente, no entanto, não existe uma tarifa para os períodos de ponta e fora de ponta neste caso e também não é cobrada para os subgrupos B1-Residencial Baixa Renda e B1-Residencial Baixa renda indígena e quilombola, para estes só é feita a cobrança referente ao consumo ativo. Da mesma forma que no grupo A o consumo reativo excedente pode ser calculado através da Equação 15 utilizando-se os mesmos termos. Não existe uma tarifa de demanda reativa excedente na categoria B. Nos grupos B2-Serviço públicos de irrigação e B2-rural Irrigante existe uma tarifa plena sem desconto para horários fora de ponta (0,55753 R$/kWh para ambas as categorias) , uma tarifa de consumo ativo reservado (0,170613 R$/kWh para o grupo B2-rural Irrigante e 0,16698150 R$/kWh para o grupo B2-Serviço público de irrigação) e uma tarifa

de consumo ativo reservado para o grupo de consumidores do grupo branco (alguns membros do grupo A adotam sistemas de tarifação do grupo B, mediante negociações com a distribuidora de energia por isso essa diferenciação nesta tarifa , no grupo o valor é 0,15053310 R$/kWh tanto para o grupo B2-rural Irrigante e B2-Serviço público de irrigação).No grupo A esta tarifa também existe para o subgrupo A3-Rural Irrigante (0,032143000 R$/kWh na Tarifa Azul), A4-Rural Irrigante(0,03446800 R$/kWh na Tarifa Azul e também verde).

O fato de existir estas tarifas diferenciadas para estes dois subgrupos do grupo B e também para o subgrupo pertencentes ao grupo A se dá do fato de que no Brasil para quem exerce atividade de Irrigação e Aquicultura (cultivo de peixes e/ou frutos do mar) pode solicitar benefício de desconto mediante a concessionário de energia definida pela resolução normativa n° 414 da ANEEL (NEOENERGIA ELEKTRO, 2021). Na Figura 39 tem-se um exemplo de uma tarifa do grupo B.

Figura 39-Exemplo de Tarifa do grupo B



Fonte: COSERN, 2022

Na Figura 39, tem-se:

- 1- Informações importantes em destaque (código da instalação),
- 2-Código do cliente,
- 3-Nota fiscal eletrônica (acessada através de *QR Code*),
- 4- Mensagem ao cliente,
- 5-Informações sobre data de leitura,
- 6-PIS/COFINS e ICMS alíquota e tarifa,
- 7-Hístoríco de consumo,
- 8-Aviso e Reaviso de Débito,
- 9-Informações obrigatórias de MMGD,
- 10-Boleto Bancário,
- 11-Código de Barras,

A sigla MMGD significa Micro e Minigeração Distribuída a finalidade dela é permitir que os consumidores possam produzir sua eletricidade e assim poder economizar na conta de luz (MINISTÉRIO DE MINAS DE ENERGIA, 2022).

APÊNDICE E-CONSUMIDORES LIVRES

Além destes grupos já abordados existe também o grupo de consumidores livres. O pré-requisito para fazer parte deste grupo é ter uma demanda de energia maior ou igual a 500 kW e os consumidores com demanda superior a 2000 kW podem contratar tanta energia especial (oriunda de fontes de energias renováveis) como energia convencional (2W, 2020).

Para estes consumidores existe os valores de fio demanda e os encargos que são fatores diretamente ligadas ao custo de transporte de energia e a remuneração prestada para este serviço (OMEGA ENERGIA, 2022). Sendo que o fio demanda é especificado em kW e o encargo em kWh (Tabela 18).

Tabela 18-Valores de fio demanda e encargos de consumidores livres COSERN

Membros do Grupo	**Valores de V_{fdp} e V_{fdfp}(kW) e de V_{ep} e V_{efp}(kWh)**

A2-Livres	V_{fdp}=22,03	V_{fdfp}=9,78	V_{ep}=0,04556	V_{efp}=0,04556
A3-Livres	V_{fdp}=21,72	V_{fdfp}=11,77	V_{ep}=0,04929	V_{efp}=0,04929
A4-Livres (Azul)	V_{fdp}=77,07	V_{fdfp}=27,56	V_{ep}=0,07524	V_{efp}=0,07524
A4-Livres (Verde)	V_{fdp}=27,56	V_{fdfp}=0	V_{ep}=1,94385	V_{efp}=0,07524

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Na Tabela 18 tem-se:

- V_{fdp}→ Valores de potência fornecida de fio demanda na ponta
- V_{fdfp} → Valores de potência fornecida de fio demanda fora de ponta
- V_{ep} → $Valores\ de\ energia$ no encargo na ponta
- V_{efp}→Valores de energia no encargo fora de ponta

Os valores destes encargos e demandas fornecidas são tarifados estabelecendo-se negociações mediante a concessionaria, possibilitando uma melhor flexibilização de pagamento do que nos consumidores convencionais que possuem uma tarifa fixa. As tarifas de consumo de energia correspondem a soma de duas tarifas a TUSD (Tarifa de uso de sistema de Distribuição) que corresponde a tarifa referente ao uso do sistema de energia dada em R$/kWh diretamente relacionada aos custos referentes a fios, postes, transformadores e demais equipamentos necessários ao transporte de energia e a Tarifa TE (Tarifa de energia) também dada em R$/kWh é diretamente ligada ao consumo (ENEL-CEARÁ, 2022).

A tarifa de consumidor A2 grupo azul ativo na ponta de TC_P= 0,49052 R$/kWh (Tabela 12) por exemplo, é resultado da soma de uma TUSD de 0,04556 R$/kWh mais uma tarifa TE de 0,44496 R$/kWh. Suponha-se que este consumidor A2 grupo azul queira deixar de ser um consumidor convencional e passe a ser um consumidor livre e prefira ser um A2 livre , segundo a Tabela 16 o valor de potência fornecida de fio demanda na ponta de 22,03 kW ; e o valor de potência fornecida de fio demanda fora de ponta de 9,78 Kw e o valor de energia no encargo na ponta e fora de ponta de 0,04556 kWh. Isso significa que supondo que ele tenha uma demanda de 600 kW na ponta ele terá a cada 22,03 Kw na ponta e a cada 9,78 kW fora de ponta uma tarifa de uso de sistema de distribuição e uma tarifa de energia que será determinada mediante negociação com a empresa fornecedora de energia que incidira a cada 0,04556 kWh de consumo. Para saber se tal mudança é satisfatória é necessário saber se ao se tornar consumidor livre o valor pago pela conta de luz será inferior ao que se costumava pagar

sendo um consumidor convencional, essas negociações levam em considerações fatores, como ultrapassagem, energia reativa, ICMS, PIS e COFINS também. A COSERN também possui valores de Fio Demanda na ponta (37,07 kW) e fora de ponta (18,25 kW) e Encargos (0,01953 kWh valor único para ponta e fora de ponta) fornecidas especialmente para consumidores livres, no entanto, somente para consumidores A4 que queiram pegar energia diretamente da concessionaria .Para centrais de energia próprias existe também valores de Fio Demanda estipulados pela concessionaria , pois embora , elas gerem energia fora da concessionaria necessitam da fiação da mesma para fornecer sua energia gerada(Tabela 19). O termo EOL presente na tabela 13 significa eólica, ou seja, todo local que possui esta designação pode ser entendido como uma usina eólica, um parque eólico ou um complexo eólico.

Tabela 19-Valores de fio demanda para geração COSERN

Membros do Grupo	**Valores de fio demanda (V_{fd})**
A2	V_{fd}=2,92 kW
EOL Mangue Seco I	V_{fd}=2,92 kW
EOL Mangue Seco II	V_{fd}=2,92 kW
EOL Mangue Seco III	V_{fd}=2,92 kW
EOL Mangue Seco V	V_{fd}=2,21 kW
ASSU V	V_{fd}=2,37 kW
EOL Santa Rosa e Mundo Novo I	V_{fd}=2,37 kW
EOL Santa Rosa e Mundo Novo II	V_{fd}=2,37 kW
EOL Santa Rosa e Mundo Novo III	V_{fd}=2,37 kW
EOL Santa Rosa e Mundo Novo IV	V_{fd}=2,57 kW
Novas Centrais Geradoras	V_{fd}=1,73 kW
A3	V_{fd}=7,47 kW
A4	V_{fd}=12,78 kW

Fonte: NEONERGIA (COSERN), 2022

Supondo que a eólica de Mangue Seco I forneça 600 kW para um cliente, a cada 2,92 kW o dono desta eólica pagará uma taxa que será estipulada mediante negociação com a concessionaria, isto é, praticamente uma taxa de aluguel por usar a rede da empresa for-

necedora de energia para transmitir a energia gerada até o consumidor. A mesma lógica pode ser aplicada para as demais centrais geradoras explicitadas na Tabela 17. No caso de novas centrais geradoras seria para uma central geradora que está em operação recente. O valor destas taxas também é determinado mediante negociação com a concessionaria.

As eólicas Mangue seco de 1 a 5 correspondem a um complexo eólico localizado na cidade de Guamaré no Rio Grande do Norte (Figura 40). A Assú V corresponde há uma usina fotovoltaica localizada na cidade de Assú também no Rio Grande do Norte (Figura 40).

Figura 40-Aerogeradores pertencentes ao complexo Eólico Mangue seco

Fonte: G1(INTER TV), 2021

Figura 41-Usina Fotovoltaica Assú V

Fonte: FRANÇA, 2017